

VESI- JA YMPÄRISTÖHALLITUKSEN MONISTESARJA

Nro 52

XVIII Suomalais-neuvostoliittolainen maanparannus- ja vesitalous-symposium, Tbilisi 19.11.1986

V E S I - J A Y M P Ä R I S T Ö H A L L I T U K S E N
M O N I S T E S A R J A

Nro 52

XVIII Suomalais-neuvostoliittolai-
nen maanparannus- ja vesitalous-
symposium, Tbilisi 19.11.1986

Symposiumin aihe:

Tekojärvien vaikutus vesistöjen laatuun

Vesi- ja ympäristöhallitus
Helsinki 1987

Monistetta on saatavissa vesi- ja ympäristöhallituksesta
(Sirkka Haunia, Jaakko Henttonen).

ISBN 951-47-0263-8

ISSN 0738-3288

Painopaikka: Vesi- ja ympäristöhallituksen monistamo
Helsinki 1987

SISÄLLYSLUETTELO

Loginov, V. P. VSFNT:n maanparannus- ja vesitalousministeri	Symposion avaus	1
Kemoklidze, G. S.	Tervehdyspuhe	3
Sipilä, P.	Suomen tekojärvet ja niiden ympäristövaikutukset	6
Ståhlberg, F. V.	Eräitä teknisiä mahdollisuuksia parantaa tekojärven käyttökel- poisuutta	14
Hooli, J.	Tekojärvien rakentaminen virkis- tyskäyttötarkoituksiin ja maise- majärveksi	24
Jurovskaja, T. N. Smirnova, L. Ja.	Veden laadun ennusteen laatimi- nen tekojärvisuunnitelmissa	40
Mander, ü., Liiv, H.	Pienten tekojärvien vesitalouden parantamiseen tarkoitettut vesi- tekniset ja luonnonsuojelulliset toimenpiteet	52
Kinnunen, K.	Lapin tekojärvien veden laadun kehittyminen ja vaikutus alapuolis- ten vesien ainevirtaamiin ja veden laatuun	61
Golikov, A. P., Dubinskij, G. P., Popova, E. A.	Eräitä näkökohtia vesien säännöste- lyn vaikutuksesta vesivaroihin ja vesitaseeseen Levobereznaja Ukrai- nan alueella	76
Alasaarela, E.	Tekoaltaiden ja jokiporrastusten vaikutus alapuolisen vesistönosan veden laatuun Pohjanmaalla	85
Prytkova, M. J.	Pienten tekojärvien vaikutus liet- tymiseen ja ihmisen toiminnasta aiheutuva rehevöityminen suurem- missa tekojärvissä	101
Denisova, A. I., Nahshina, E. P., Rjabov, A. K.	Dneprin tekojärvien tila ja veden laatu ihmisen toiminnan vaikutuk- sen alaisissa olosuhteissa sekä sen parantamismahdollisuudet	110
Muotiala, S., Henttonen, J.	Tekoaltaiden pohjan raivauksen tarve, menetelmät ja saadut ko- kemukset Suomessa	120

Lvov, V. A.	Eräitä tekoaltaiden vesiensuojelun matemaattiseen simulointiin liittyviä kysymyksiä	125
Kuusisto, E.	Tekojärvien vaikutus alapuolisen vesistön hydrologiassa	134
Dubinskij, G. P., Riman, A. M.	Maanparannuksen vesienkäytön ympäristönäkökohtia	140

V. P. Loginov
VSFNT:n maanparannus- ja
vesitalousministeri

Maanparannus- ja vesi-
taloussymposio
Tbilisi 19.11.1986

Maanparannuksen ja vesitalouden työryhmän neuvosto-
puolen puheenjohtajan, VSFNT:n maanparannus- ja
vesitalousministerin V.P. Loginovin avauspuheenvuoro

Arvoisa herra Jaatinen!

Arvoisat suomalaisen ja neuvostoliittolaisen valtuuskunnan jäsenet!

Sallikaa minun toivottaa Teidät sydämellisesti tervetulleiksi maanparannuksen ja vesitalouden työryhmän 18. yhteiskokoukseen. Työryhmä on jälleen kokoontunut käsittelemään Neuvostoliiton ja Suomen välisen yhteistyön kehitystä mainitulla alalla, lujittamaan saatuja myönteisiä tuloksia sekä suunnittelemaan jatkotoimenpiteitä molemmiin puolin hyödylliselle, jo miltei kahden vuosikymmenen ajana laajentuneelle yhteistyölle.

Jokainen työryhmän yhteiskokous on omalta osaltaan rikastanut yhteisiä kokemuksia, kehittänyt maittemme maanparannuksen ja vesitalouden alalla työskentelevien henkilöiden välisiä yhteyksiä ja lujittanut hyviä naapurisuhteita.

Kuten tiedätte, Neuvostoliiton puoluevaltuuskunta vieraili äskettäin Suomessa. Vierailun aikana valtuuskunnan puheenjohtaja Jegor Ligatshev tapasi Suomen tasavallan presidentin Mauno Koiviston.

On korostettu yhteisiä aktiivisia toimia, joiden avulla Neuvostoliiton ja Suomen välisissä suhteissa etsitään uusia aloitteita, ja painotettu uusia yhteistoimintamuotoja kuten tuotannollista ja teknistieteellistä yhteistoimintaa sekä yhteisyritysten perustamista.

Tällainen lähestymistapa asettaa kaikkien suomalais-neuvostoliittolaisten yhteistyöelinten eteen uusia tehtäviä mahdollisimman tehokkaiden yhteistoimintamuotojen löytämiseksi. Tämä koskee myös maanparannusta ja vesitaloutta.

Toivon, että tämä tulee kuvastumaan suoraan myös työryhmän yhteiskokoustyökentelyssä ja työryhmän kaikessa tulevassa toiminnassa.

Sallikaa minun toivottaa kaikille maanparannuksen ja vesitalouden työryhmän 18. yhteiskokouksen osanottajille menestystä ja julistaa kokous täten avatuksi.

G. S. Kemoklidze
Glavgruzvodstroin
ens. varajohtaja

Maanparannus- ja vesi-
taloussymposio
Tbilisi 19.11.1986

Arvoisat vieraat, hyvät ystävät ja kollegat!

Gruusian neuvostotasavallan johtoelinten, Neuvostoliiton maanparannus- ja vesitalousministeriön sekä tämän kokouksen järjestäjien - valtion maatalousteollisen komitean, luonnonsuojelukomitean, maanparannusrakentamisen päähallinnon, hydrotekniikan ja maanparannuksen tutkimuslaitoksen, Goskomgidrometin Kaukaasian tutkimuslaitoksen sekä Mustan meren rantavyöhykkeen suojelua tutkivan tieteellis-tuotannollisen yhtymän puolesta haluan toivottaa Teidät tervetulleiksi Gruusiaan. Toivon, että tulette viihtymään ja että työnne täällä tulee olemaan tuloksekasta.

Tiedämme Suomen kansan olevan työteliästä ja ahkeraa. Maanne ilmastollisilla olosuhteilla on ollut huomattava vaikutus suomalaisten kansallisen luonteen muotoutumiseen. Huomattava osa maatanne on järvien ja jokien peittämää.

On tunnettua, että vuoteen 2000 ulottuvan ohjelman mukaan maassanne on tarkoitus ojittaa suuria aloja soistuneita maita. Maassanne metsän vuotuinen kasvu on suurempi kuin raivattava pinta-ala. Tämä on huomattava saavutus ekologisen tasapainon säilyttämisen kannalta.

Teollisuuden kasvun nopeutuessa luonnonsuojelusta tulee yhä tärkeämpi kysymys ja se vaatii yhä enemmän huomiota.

Tänä päivänä Suomessa on otettu tehtäväksi jokien puhdistaminen ja niiden suojaaminen saastumiselta, samoin kuin myös metsien uudistaminen. Suomessa on tehty mielenkiintoista tutkimustyötä, joka koskee teollisuuslaitosten sijoituspaikkojen valintaa.

Kuten Neuvostoliitossa yleensäkin, niin myös Gruusiassa on luonnonsuojelun ja ympäristönsuojelun alalla ratkaistavana suuria kysymyksiä. Gruusia on vuoristoinen maa, jossa vuoret peittävät 5,6 % pinta-alasta, vuoristojen reuna-alueet 33,4 % ja tasangot vain 13 %. Maan pinta-alasta on metsien peitossa 36,7 %, millä on tärkeä merkitys maaperän ja vesien suojelun kannalta. Gruusian järvet ovat vulkaanista, karstimaata tai jääkautista alkuperää. Ne ovat kooltaan pieniä, joten niillä ei ole huomattavaa hydrologista merkitystä. Pohjoisessa pitkin Gruusian rajaa kulkee 5600 m korkeuden saavuttava Kaukasus-vuoristo, joka muodostaa luonnollisen rajan kylmiä pohjoisia tuulia vastaan. Toinen vuorijono - Suramin vuoret - jakaa maan itä - länsisuunnassa. Tämän vuorijonon vaikutuksesta Gruusian itä- ja länsiosien ilmastot poikkeavat toisistaan huomattavasti.

Kun maan länsiosissa vuotuinen sademäärä on 1000 - 2600 mm, on se idässä vain 400 - 1000 mm. Tästä johtuen Gruusian maanparantajat joutuvat taistelemaan lännessä liikamärkyttää ja idässä kuivuutta vastaan.

Gruusian vesitaloudellisessa rakentamisessa pyritään kuivien maiden kasteluun, märkien maiden ojitukseen, laidunmaiden uudistamiseen, maaperän suojeluun eroosiolta sekä taisteluun tulvia ja maanvieremiä vastaan.

Gruusian maanparannustöiden hallintojärjestelmä on seuraava: tasavallan maatalousteollinen komitea (Gosagroprom) vastaa vesitalouden kohteiden pitkän tähtäimen suunnittelusta, maanparannusjärjestelmien käytöstä sekä maaseudun vesihuollosta.

Toimintaa johdetaan alueellisten hallintojen sekä laidunmaiden kastelujärjestelmähallintojen kautta.

Vesitalouden rakentamista johtaa maanparannusrakentamisen päähallinto. Maanparannus- ja vesitalouskohteiden suunnittelusta Gruusiassa vastaa Gruzgiprovozhoz-instituutti.

Gruusian tutkijavoimat keskittyvät pääosin Gruusian hydrotekniikan ja maanparannuksen tutkimusinstituuttiin, joka käsittelee paikallisia ongelmia.

Keinokastelulla on Gruusiassa vuosisataiset perinteet. Jo 300-luvulla rakennettiin hydroteknisia laitteita, joita käytettiin avuksi taistelussa kuivuutta vastaan. Todisteita näistä rakenteista on löydetty eri puolilla Gruusiaa tehdyissä kaivauksissa. Alazanin kanava, joka rakennettiin 1100-luvulla, hämmästyttää suurenmoisuudellaan. Kanavan pituus oli 120 km. Kastelujärjestelmien vesilähteinä käytet-

tiin keskikokoisia ja pieniä jokia, joihin rakennettiin altaita.

Vuosisatoja kestänyt raskas taistelu kuivuutta vastaan sai toiset mittasuhteet sen jälkeen, kun Gruusiasta tuli neuvostotasavalta. Ennen vallankumousta maanparannuksen piirissä oli 95.000 ha maata vastaavan luvun ollessa tänään 600.000 ha. Maanparannuksen piiriin otetut maat, joiden pinta-ala on 17 %, antavat 43 % bruttotuotannosta.

Koska Gruusian itäosien jokien virtaamassa on selviä kausiluonteisia vaihteluita, kastelujärjestelmiä varten on rakennettu vesialtaita.

Neuvostokaudella on rakennettu ja rakennetaan kymmeniä suuria ja pienempiä altaita, joilla on huomattava merkitys viljelykasvien tuoton parantamisessa ja väestön vesihuollon vakiinnuttamisessa.

Käynnissä on vuorten rinteiden metsittäminen, minkä avulla stabilisoidaan pohjavesien pintaa ja virtaamaa.

Meillä kuten myös Suomessa ympäristökysymykset tulevat yhä tärkeämmiksi. Niihin kuuluu yhtäläillä vesistöjen suojaus saastumiselta, pohjavesien pinnan nousun ehkäiseminen keinokastelluilla mailla, maaperän suojelu ja sen saastumisen ehkäisy sekä muut biojärjestelmän tasapainoon liittyvät kysymykset.

Lopuksi haluaisin lausua julki varmuuteni siitä, että kokouksen ja symposiumin työn tulokset edesauttavat maanparannuksen, vesitalouden ja ympäristönsuojelun eteen asetettujen tehtävien ratkaisua.

Pentti Sipilä
Ympäristöministeriö

Maanparannus- ja vesi-
taloussymposio
Tbilisi 19.11.1986

SUOMEN TEKOJÄRVET JA NIIDEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

Rakennetut tekojärvet

Suurin osa Suomessa toteutetuista vesistön säännöstelyistä on luonnollisten järvien säännöstelyjä. Suomessa alettiin rakentaa tekojärviä varsinaisesti vasta 1960 -luvulla. Niiden rakentamisella on ensisijaisesti pyritty tulvasuojelun parantamiseen ja vesivoiman lisäämiseen, minkä lisäksi tärkeitä tavoitteita ovat olleet myös vedenhankinta, vesiliikenteen ja uiton edistäminen sekä varsinkin viime aikoina virkistyskäyttö ja maiseman parantaminen. Tekojärvinä on pidettävä myös kalanviljelytarkoituksiin rakennettuja luonnonravintolammikoita.

Luettelo tärkeimmistä Suomessa rakennetuista tekojärvistä on esitetty liitteessä 1 ja niiden sijainti liitteessä 2.

Pinta-alan mukaan laskettuna tekojärvistä noin 70 % on rakennettu pääasiassa voimataloutta varten. Lapin suurten tekojärvien Lokan ja Porttipahdan pinta-ala on yhteensä 630 km² ja säännöstelytilavuus 2500 milj. m³. Useimmat tekojärvet on rakennettu Pohjanmaan tulvasuojelua varten. Niiden pinta-alat vaihtelevat välillä 1-30 km². Yksinomaan virkistyskäyttöön ja maiseman parantamiseksi rakennetut tekojärvet sijaitsevat pääasiassa Etelä-Suomessa, mutta myös vähäjärvisellä Pohjanmaalla. Niiden pinta-ajat ovat yleensä varsin pieniä, 4-20 ha.

Vesihuoltoa palvelevia tekojärviä on rakennettu sekä asutuksen että teollisuuden tarpeisiin. Ne sijaitsevat yleensä kulutusalueiden välittömässä läheisyydessä, lähinnä Etelä-Suomessa. Asutuksen vesihuollon tarpeisiin rakennetut tekojärvet ovat pinta-alaltaan varsin pieniä, enintään 50-60 ha.

1970 -luvulla alettiin rakentaa kalanpoikasten kasvatusta varten pieniä tekojärviä, luonnonravintolammikoita, joita vuosikymmenen lopussa oli yhteensä 540 pinta-alaltaan yhteensä 4600 ha. Useimmat luonnonravintolammikot sijaitsevat Pohjois-Suomessa.

Vaikka tekojärvet pyritään suunnittelemaan moninaiskäyttöperiaatteella tyydyttämään samanaikaisesti useaa eri käyttötarkoitusta, ovat kuitenkin eräät tavoitteet rakennustyön toteuttajalle ensisijaisia, ja muut toteutetaan, mikäli niistä ei aiheudu rajoituksia päätarkoituksille. Tästä syystä rakentamisluvassa asetetaan tekojärven käytölle ehtoja, joita on ehdottomasti noudatettava. Riippuen toteuttajan päämääristä tällaisia voivat olla mm.

- vedenhankinnan ja kastelun edellyttämä alivirtaama,
- maatalouden edellyttämä tulvasuojelu,
- vesiliikenteen edellyttämä vedenkorkeus purjehduskaudella,
- uiton edellyttämä vedenkorkeus ja virtaama,
- voimatalouden edellyttämä juoksutus,
- kalatalouden edellyttämä vedenkorkeus ja virtaama, sekä
- virkistyskäytön edellyttämä vedenkorkeus.

Lisäksi rakennusluvassa voidaan asettaa veden laadun tarkkailuvelvoitteita ja toimenpiteitä erilaisten haittojen ehkäisemiseksi. Asetetuista ehdoista huolimatta rakentaja on aina vastuussa kaikista ennalta arvaamattomista haittavaikutuksista.

Tekojärville, jotka sijaitsevat lähellä kaupunkia tai suuria kyläkeskuksia, laaditaan ranta-alueiden käyttösuunnitelmia. Näillä suunnitelmilla varataan virkistysalueita uimarannoiksi, leirintäalueiksi, venesatamiksi ja kesämökkialueiksi. Veneväyliä on merkitty Lapin kahdella suurella tekojärvellä. Useimpiin tekojärviin on istutettu kalaa joko vesioikeuden luvan velvoittamana tai kalastajajärjestöjen ja tekojärven käyttäjän vapaaehtoisin toimin. Lapin tekojärvistä Lokasta ja Porttipahdasta on kalastettu vuosittain noin 300 000 kg kalaa, josta siikaa noin

80 000 kg. Noin puolet ao. kunnan perheistä kalastaa näistä tekojärvistä ja niillä toimii 35 ammatti- tai sivuammattikalastajaa.

Tekojärvien ympäristövaikutukset

Hydrologisten tekijöiden selvittämisellä on tekojärvien suunnittelussa ollut keskeinen merkitys. Näiden tekijöiden eli virtaamien, vedenkorkeuksien ja virtausnopeuden samoin kuin veden laadunkin muuttamisesta saatava hyöty on pitkäaikaisten havaintojen perusteella ollut useimmiten melko tarkoin etukäteen arvioitavissa. Lisäksi suunnittelun yhteydessä on jouduttu suorittamaan monia erikoistutkimuksia, joiden tarkoituksena on ollut selvittää paitsi teknilliset rakentamismahdollisuudet myös hankkeiden vaikutukset luontoon ja sen toimintaan. Selvitysten kohteina ovat olleet esim. alueen puusto ja maaperä, kasvipeite, linnusto ja muu riistaeläimistö, malmivarat, tiestö ja joskus myös alueella olevat historialliset muinaisjäännökset. Tärkeitä ovat olleet myös alueen väestöön ja elinkeinoihin kohdistuvat selvitykset.

Vaikka tekojärvien suunnittelussa pyritäänkin ennalta varautumaan mahdollisimman perusteellisesti paitsi niiden monipuoliseen hyväksikäyttöön myös aiheutuvien haittojen selvittämiseen ja ennalta ehkäisemiseen, voi kuitenkin ilmetä seurauksia, joita ei ole riittävästi tunnettu ja ennakolta tutkittu. Asianosaisten yleisen tietoisuuden lisääntyessä ja ympäristövaatimusten voimakkaasti kasvaessa on tällaisiin vaikutuksiin alettu kiinnittää yhä suurempaa huomiota.

Tekojärvissä ilmenneistä ennalta arvaamattomista vaikutuksista voidaan mainita mm. seuraavat:

- turpeen nousu tekojärven pohjasta,
- tekojärven veden laadussa ilmenneitä haittoja kuten hapettomuus, korkea ravinnepitoisuus ja väri,

- kalojen elohopeapitoisuus.

Tekojärvien alapuolisissa vesistönosissa ilmenneistä vaikutuksista voidaan mainita seuraavat:

- veden hapettomuudesta johtuvat kalakuolemat
- tekojärven rakentamisaikainen veden samentuminen ja siitä johtuvat vahingot kala- ja rapukannoille.

Tekojärvien käytön haittana on usein ollut turpeen nousu. Turvetutkimuksilla pyritään selvittämään, onko turpeen nousu todennäköistä. Turpeen nousun aiheuttaa mikrobiologisen prosessin synnyttämä kaasu, joka kuplina muodostuu turpeen sisään ja siten nostaa sen ylös pohjasta. Eräissä tapauksissa voidaan turve käyttää turpeentuotantoon, mikäli toimenpiteeseen varaudutaan riittävän ajoissa. Turvehaittoja pyritään poistamaan siten, että turvelautat paloittellaan talvella jään päältä ja hinataan ke-sällä syville rannoille, esim. patopenkereen viereen ja nostetaan pois, tai matalilla rannoilla käytetään rannan täyttöön tai muodostetaan niistä kasaamalla saaria. Turvelauttoja voidaan myös upottaa painottamalla niitä maa-aineksella, kivisoralla tai kivillä.

Erityisesti ensimmäisten vuosien aikana voi esiintyä tekojärvien vedessä hapettomuutta, mikä johtuu siitä, että kuivan elope-räisen maan joutuessa veden alle alkaa prosessi, joka lisää tuotantokykyä ja aiheuttaa ylimääräistä hapen kulumista ve-dessä. Hapettomuutta esiintyy lähinnä alusvedessä, mutta jää-peitteen aikana voi koko tekojärvi kärsiä hapen puutetta. Haittoja voidaan poistaa esim. johtamalla pois hapetonta alus-vettä, pumppaamalla happipitoista pintavettä alusveteen tai ha-pettamalla koneellisesti vesimassaa. Alapuolisessa joessa voi-daan happitilannetta parantaa rakentamalla ilmastuspatoja tai ilmastamalla vettä voimalaitospatojen yhteydessä.

Tekojärvien kalojen elohopeapitoisuuksien on todettu olevan varsin korkeita erityisesti uusissa tekojärvissä. 1980 -luvun

alussa lääkintöviranomaiset asettivat niistä pyydetty kalat, joiden elohopeapitoisuus on yli 1 mg/kg, myyntikieltoon sekä rajoittivat kalan käyttöä seitsemässä tekojärvessä. Kalojen elohopeapitoisuus johtuu siitä, että tekojärvet sisältävät erittäin runsaasti veden alle jääneestä maaperästä liuennutta orgaanista ainetta, mikä ilmenee veden hyvin tummana värinä. Orgaanisten humusyhdisteiden on todettu toimivan elohopean välittäjänä maaperän ja kalaston välillä. Elohopeapitoisuuden oletetaan riippuvan mm. tekojärven iästä ja säännöstelyn tehokkuudesta, joskin joissakin vanhoissa (yli 15 v) tekojärvissä tava- taan yhä korkeita elohopeapitoisuuksia.

Tehokkain keino vähentää elohopeapitoisuutta olisi orgaanisen aineen poisto säännöstelyvyöhykkeestä, mutta kustannussyistä se ei yleensä tule kysymykseen. Joissakin tapauksissa on elohopeapitoisuuden vähenemistä pyritty nopeuttamaan vähentämällä veden happamuutta kalkitsemalla sekä kalastamalla elohopeaa sisältäviä petokaloja tehokkaasti. Tekojärvien alapuolisessa uomassa on usein ilmennyt ohimeneviä vahinkoja kalastolle ja rapukannalle rakentamisen aiheuttaman veden samentumisen seurauksena. Laskeutunut liete on aiheuttanut myös pitempiaikaisia muutoksia kutualueiden osittaisen peittymisen seurauksena.

Tulevaisuuden näkymiä

Suurten voimataloutta ja tulvasuojelua palvelevien tekojärvien rakentaminen Suomessa on ajoittunut 1960 -luvun lopulle ja 1970 -luvun alkupuolelle. Tällä hetkellä ei ole yhtään suurta tekojärveä rakenteilla. Sen sijaan valmiita suunnitelmia on useita, lähinnä Lapissa ja Pohjanmaalla. Ne jäänevät kuitenkin toteuttamatta joko koskien suojelun seurauksena, kuten Kemijoen sivujokeen Ounasjokeen suunnitellut tekojärvet, tai alueen väestön ja luonnonsuojelujärjestöjen painostuksesta, kuten Kemi- jokeen ja Iijokeen suunnitellut tekojärvet. Tulvasuojelun edellyttämät tekojärvet on pääosin jo toteutettu ja uusia ei liene suunnitteilla.

Virkistyskäyttöä, veden hankintaa ja kalanviljelyä varten tultaneen rakentamaan runsaasti pieniä tekojärviä, varsinkin, jos niiden rahoitus saadaan järjestymään. Tekojärvien rakentaminen asuttujen alueiden keskelle maiseman parantamiseksi ja uintitar-koituksiin on jäänyt varsin vähäiseksi. Kun maassamme on järviä 31 000 km² eli lähes 10 % koko pinta-alasta, ovat virtaamat pää-vesistöissä varsin tasaisia. Näin ollen kovin suuria tarpeita tekojärvien rakentamiseen ei ole, joskin eräillä järvettömillä alueilla on kohteita, joissa tekojärvien rakentaminen on perusteltua.

LIITE 1

SUOMEN TÄRKEIMMÄT TEKOJÄRVET

VESISTÖ, tekojärven nimi	valmistumis- vuosi	pinta-ala km ²	säännöstely- tilavuus milj. m ³
1. Kemijoki, Lokka	1967	417	1,400
2. Kemijoki, Porttipahta	1970	213	1,100
3. Siikajoki, Uljua	1970	28.0	146.0
4. Siikajoki, Kortteinen	1960	7.0	9.0
5. Siikajoki, Vähä-Lamujärvi	1968	3.0	3.8
6. Pattijoki, Haapajärvi	1967	5.1	11.7
7. Pyhäjoki, Piipsjärvi	1979	4.1	-
8. Kalajoki, Korpinen	1962	3.0	5.2
9. Kalajoki, Juurikka	1962	1.8	3.6
10. Kalajoki, Hautaperä	1975	7.6	48.2
11. Kalajoki, Kuona	1968	5.4	9.5
12. Kalajoki, Settijärvi	1970	4.2	9.4
13. Perhonjoki, Venetjoki	1965	17.5	28.0
14. Perhonjoki, Patana	1967	11.0	52.0
15. Perhonjoki, Vissavesi	1965	3.7	6.6
16. Lapuanjoki, Varpula	1962	5.2	10.3
17. Lapuanjoki, Hirvijärvi	1973	15.5	40.0
18. Kyrönjoki, Liikapuro	1967	3.1	5.3
19. Kyrönjoki, Pitkämä	1971	1.0	7.0
20. Kyrönjoki, Kalajärvi	1977	11.3	42.0
21. Kyrönjoki, Kyrkösjärvi	1981	6.4	11.0
22. Närpiönjoki, Kivi- ja Levälampi	1977	9.7	15.8

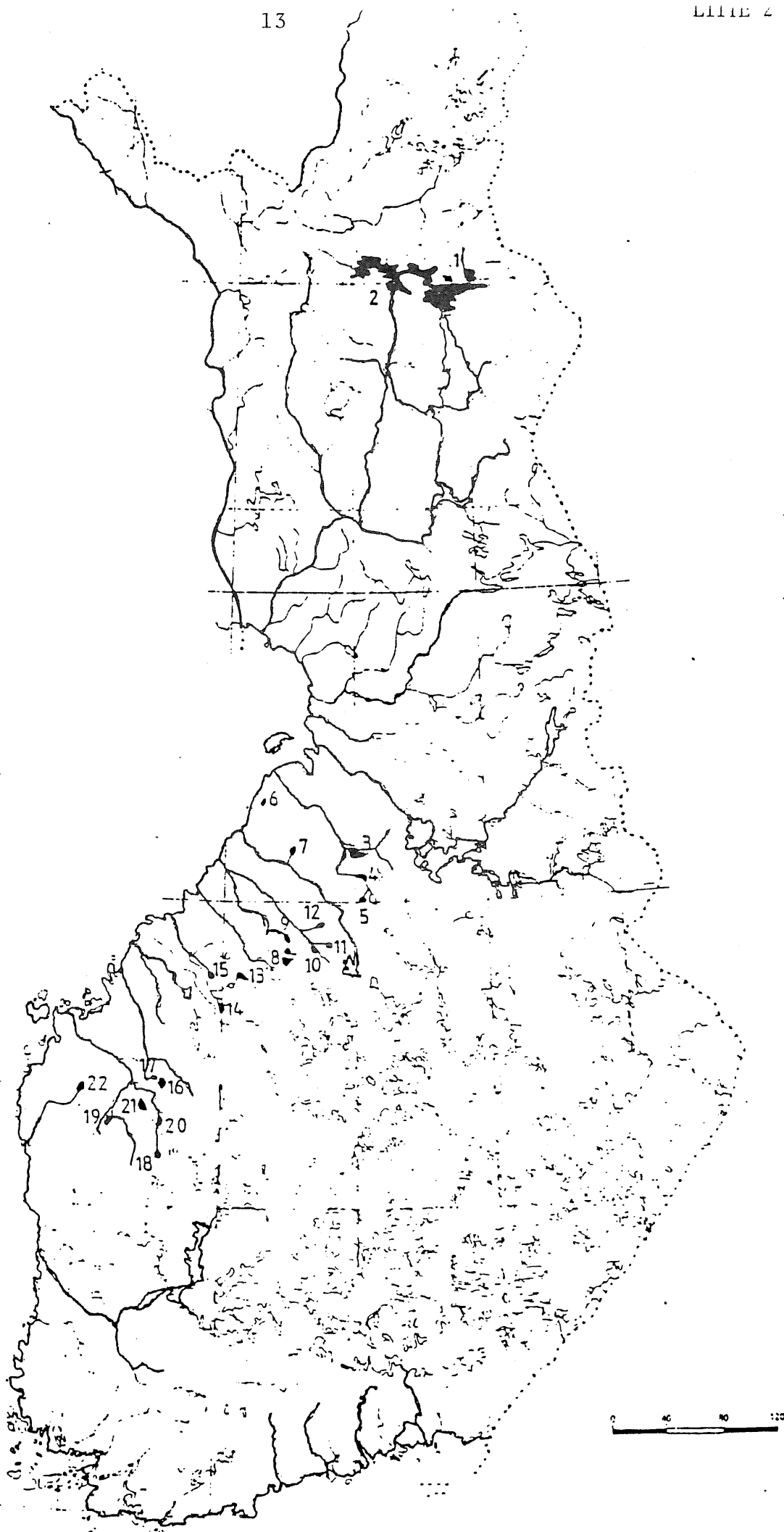
yhteensä

n. 780

2960

SUOMEN TEKÖJÄRVET

- 1 Lokka
- 2 Porttipahta
- 3 Uljua
- 4 Kortteinen
- 5 Vähä-Lamujärvi
- 6 Haapajärvi
- 7 Piipajärvi
- 8 Korpinen
- 9 Juurikka
- 10 Hautaperä
- 11 Kuona
- 12 Settijärvi
- 13 Venetjoki
- 14 Patana
- 15 Vissavesi
- 16 Varpula
- 17 Hirvijärvi
- 18 Liikapuro
- 19 Pitkämä
- 20 Kalajärvi
- 21 Kyrkösjärvi
- 22 Kivi- ja Levälampi



F. V. Ståhlberg
VNIIVO-instituutti

Maanparannus- ja vesi-
taloussymposio
Tbilisi 19.11.1986

ERAITA TEKNISIÄ MAHDOLLISUUKSIA PARANTAA TEKÖJÄRVIENTÄ KÄYTTÖKELPOISUUTTA

Neuvostoliitossa on runsaasti tekojärviä, joiden tilavuus vaihtelee muutamasta kymmenestä miljoonasta kuutiometristä useaan miljardiin kuutiometriin ja jotka on rakennettu jokisäännöstelyjen yhteydessä, kanaviin alueittaisten vesistöjärjestelyjen yhteydessä ja eräiden muiden toimenpiteiden aikana.

Veden puutteen lisääntyessä jokisäännöstelyt tulevat jatkumaan myös tulevaisuudessa ja pääosa pintavesien vedenkäytöstä tulee perustumaan tekojärviin. Täten voidaan myös selittää se, että ongelma tekojärvien veden laadun kehittymisestä on ajankohtainen ja että on etsittävä teknisiä keinoja, joilla voidaan parantaa veden käytön edellytyksiä silloin, kun veden laadulle annettuja normivaatimuksia rikotaan vedentottovesistössä. SNTL:n Euroopan puoleisen osan keski- ja eteläalueille perustettavat tekojärvet rakennetaan yleensä tasaisille maille paikallisiin notkoihin, painanteisiin, laguuneihin jne.

Tästä syystä ne ovat yleensä matalia: Keskisyvyys 10 - 15 m ja leveys 1 000 kertaa syvyyttä suurempi. Sen seurauksena virtaukset tällaisissa tekojärvissä ovat heikkoja ja näissä on huomattavia seisovan veden alueita, joiden pinta-alat ovat 10 - 30 % tekojärven koko vesipinta-alasta.

Tällainen morfometria määrittää myös tarkasteltavana olevien vesistöjen veden laadun muodostumisen erityispiirteet. Veden alhaiset virtausnopeudet edesauttavat kiintoaineksen laskeutumista ja sen seurauksena veden selkeytymistä sekä pienen-

tävät kiintoainekseen sitoutuneiden aineiden aiheuttamaa vesistön likaantumista. Toisaalta kuitenkin tällä tavalla muodostuneet sedimentit voivat aiheuttaa vesistön sekundääristä likaantumista.

Toisaalta veden tehokas lämpeneminen, suuri näkösyvyys ja sedimenttien ja rinteiltä tulevan pintavalunnan sisältämät suuret ravinnemäärät aiheuttavat siniviherlevien synnyttämän veden kukinnan, joka on huomattava vesistön sisäinen likaantumislähde.

Eräissä tapauksissa tekojärvien rantaluiskiin, varsinkin jos luiska on verhoiltu, muodostuu suuria rihmaleväyhdyskuntia, jotka myös likaavat vesistöä elintoimintojensa yhteydessä muodostuvilla tuotteilla tai hajotessaan.

Hyvin merkittävästi tekojärven veden laatuun vaikuttaa valuma-alueelta tulevan veden laatu, joka riippuu ihmisen toiminnan luonteesta valuma-alueella.

Alempana esitetään eräitä yllä mainittujen vesistön sisäisten likaantumislähteiden kvalitatiivisia arviointeja sen perusteella, miten ne vaikuttavat kok. BOD-lukuun ja kuvataan eräitä mahdollisia tällaisiin tapauksiin tarkoitettuja vesien-suojelumenetelmiä.

Planktonlevien (siniviher-, pii- ja virherlevien) massakehittymisen seurauksena syntyvä veden kukinta on nykyään saavuttanut suuret mittasuhteet yhä suurenevan rehevöitymisen myötä. Levien massakehittymisen yhteydessä tätä likaantumislähdettä voidaan verrata teollisuusjätevesien vaikutuksiin ja eräissä tapauksissa se voi olla jopa dominoiva.

Esimerkiksi Pneprodzerzinskin tekojärvessä luonnonvesien laadun ja ominaisuuksien sekä erilaisten jätevesien aiheuttama BOD_5 :n tausta-arvot ovat normien rajoissa, mutta veden kukinnan aikana BOD_5 -arvo kasvaa moninkertaiseksi. Veden kukintaa

ei kuitenkaan huomioida vesiensuojelutoimenpiteitä suunniteltaessa, koska levien biomassalle ja tuotannon arvolle ei ole olemassa normeja. Veden kukinnan intensiteettiä vesistössä kuvaa levien biomassa. Parhaiten veden kukinnan vaikutusta veden laatuun kuvaa kok. BOD. Siniviherleville on esitetty tunnusluvuksi veden kukinta-astetta, johon sisällytetään BOD₅:n kasvun kvalitatiivinen arvio (vrt. taulukko). BOD₅:n kasvun ja levien biomassan välinen riippuvuus määritetään kolmella tavalla: laskemalla lähtien tuhokattoman kuiva-aineen hapettumisen hapentarpeesta, tutkimalla kokeellisesti siniviherlevien hajoamisprosesseja laboratoriomittakavaisilla jokimalleilla sekä samanaikaisella siniviherlevien biomassan ja BOD₅:n mittaamisella Dnepro-Bygskin limaanissa ja Dnepro-Džeržinskin tekojärvessä.

Siniviherlevien aiheuttaman kukinnan asteen luokittelu

Veden kukinta-aste	Silmämääräinen arvio	Sestoni massa (raaka) mg/l	Levä-biomassa, mg/l	BOD ₅ :n kasvu mgO ₂ /l
I (alkuvaihe)	Leviä harvassa	4	1	0,46
II (heikko)	Leviä huomattavasti, leväkalvojen ilmestyminen veden pinnalle	5 - 20	1 - 4	0,46 - 1,84
III (kohtalainen)	Kelluvan leväkerroksen muodostuminen veden pinnalle	21 - 50	5 - 10	2,30
IV (voimakas)	Tuulen mukana kulkeutuvien levälauttojen muodostuminen	51 - 250	11 - 50	5,06 - 23,0
V (hyvin voimakas, hyperkukinta)	Levälauttojen paksuus 5 - 10 cm	250 - 500	50 - 100	23,0 - 46,0

Näiden määritysten perusteella (1) suositellaan määritettäväksi tasaisesti pinta-alan ja syvyyden suhteen sijaitsevalle

levän B biomassalle veden kukinnan aiheuttama kok. BOD_5 :n kasvun lisäys kaavalla

$$\Delta \text{ kok. } BOD_5 = \alpha \cdot 13 \quad (1), \text{ jossa}$$

$\alpha = 0,35; 0,37; 0,44$ - verrannollisuuskerroin
siniviher-, pii- ja viher (klorokokki-) leville

Yllä mainittua kaavaa voidaan käyttää karkeampiin arviointeihin. Tarkempiin laskelmiin tarvitaan tietoa planktonin biomassan jakautumisesta tekojärvässä (kolme mittausta) ja differentaaliyhtälöiden laatimista integraalisen kuvauksen kehittämiseksi.

On tunnettua, että siniviherlevien biomassassa jakautuu hyvin epätasaisesti tekojärvässä ja keskittyy patojen lähelle, lahtiin ja ranta-alueille, joiden sijainnin määräävät vallitsevat tuulet ja jossain määrin myös virtaukset.

Koska tekojärven morfometria, tuuliriusut ja hydraulinen tila on jokaisessa tekojärvässä jokseenkin stabiileja, niin siniviherlevien tuulen mukana kulkeutuvien massojen ja kukkivien lauttojen jakautuminen monen vuoden aikajaksona on varsin samankaltainen, eli ne sijaitsevat käytännöllisesti katsoen samoissa paikoissa. Tämä on merkittävä näkökohta valittaessa tekojärvässä vedenottopaikkaa, joka saattaa olla alttiina veden kukinnalle.

Vedenottamon paikkaa valittaessa myös vedenottolaitteiden rakenteilla on suuri merkitys. Kun otetaan huomioon siniviherlevä konsentraatiot veden pintakerroksissa, on tarkoituksenmukaisinta rakentaa vedenottolaitteet syvempiin vesikerrokseen. Suurilla vedenottamoilla ($\geq 10 \text{ m}^3/\text{s}$) tällaisten rakenteiden perustaminen ei ole taloudellisesti tarkoituksenmukaista, koska se johtaa vedenottolaitteen vapaan aukon huomattavaan kasvuun.

Tällaisissa tapauksissa on tarkoituksenmukaista käyttää erilaisia planktonsuojarakenteita tavallisissa vedenottamokenteissa. Mahdollisena esimerkkinä tällaisesta rakenteesta voidaan käyttää Dnepr-Doubass-kanavan päävedenottamoon perustettua planktonin pääsyä estävää laitetta, jossa kelluvana osana on ponttooni, joka on kiinnitetty eräänlaiseen siipipadon siipiin, sekä planktonsuojaseinä, joka on rakennettu pneumokankaasta. Tällä rakenteella voidaan turvata syvempien vesikerrosten veden pääsy pintavedenottamoon. Laite voi samalla palvella kalojen pääsyn estäjänä vedenottamoon, koska molempien laitteiden tekniset vaatimukset ovat joissakin tapauksissa samat. Tällainen laitteen käyttö useampaan tarkoitukseen parantaa laitteen taloudellisuutta.

Tekojärven ranta-alueella, varsinkin jos ranta on verhottu, kehittyy runsaasti rihmaleviä.

Rihmalevien kasvimassa (b , g/m^2) saattaa olla enimmillään $4\,000\text{ g/m}^2$, keskiarvo kasvukaudella $2\,000\text{ g/m}^2$ ja vuosikeskiarvo noin $1\,300\text{ g/m}^2$. Kasvimassan määrän (B , g/m) laskemista varten on määritettävä trofogeenisen alueen leveys (l , m). Se riippuu kompensatiokerroksen syvyydellä, jona voidaan keskimäärin kasvukaudella käyttää näkösyvyyttä kerrottuna kahdella ($2h$, m) ja luiskan pituutta (m).

$$l = 2h \sqrt{1 + m^2}, \text{ m} \quad (2).$$

Laskutoimituksiin on lisäksi johdettava kerroin (k), joka kuvaa verhotun luiskan vettyneisyysastetta ja verhotun osan leveyttä (kun verhous on tehty esim. yhtenäisellä kangasmaisella materiaalilla), jos verhous ei kata koko luiskaa trofogeenisella alueella. Fytomassan määrä juoksumetriä kohden voidaan esittää seuraavasti:

$$B = 2b \cdot l \cdot k, \text{ g/m}; K = \frac{l_1}{l} \quad (3), \text{ jossa}$$

l_1 = liettymättömän verhotun luiskan osan leveys trofogeenisellä alueella, m .

Kokonaistuotanto (A , $\text{g O}_2/\text{m} \cdot \text{s}$) ja orgaanisen aineksen hajoaminen (R , $\text{g O}_2/\text{m} \cdot \text{s}$) rihmalevüyhteisössä on vastavasti:

$$A = a \cdot B; R = r \cdot B \quad (4), \text{ jossa}$$

- a - keskimääräinen vuorokausituotanto ($\text{gO}_2/\text{g} \cdot \text{s}$),
 r - hajoaminen ($\text{gO}_2/\text{g} \cdot \text{s}$) fytomassayksikköä (1 g raakamassaa) kohti keskimääräisesti luiskalla.

Todettakoon, että rihmalevien sekä hajonnan että fytomassan ja tuotannon että fytomassan (kun leväkonsentraatio $\leq 3 \text{ g/l}$, mikä vastaa fytomassaa 3 kg/m^2 metrin syvyydessä) välillä on suora riippuvuussuhde. Verhottujen luiskien kasvustojen fytomassa pysyy yleensä näiden rajojen sisällä.

Luiskan rihmalevien kokonaistuotanto keskimäärin kasvukaudella on $15,0 \text{ mgO}_2/\text{g} \cdot \text{d}$ ja vuodessa $10 \text{ mgO}_2/\text{g} \cdot \text{d}$ tai vastaavasti $17,3 \cdot 10^{-8} \text{ gO}_2/\text{g} \cdot \text{s}$ ja $11,5 \cdot 10^{-8} \text{ gO}_2/\text{g} \cdot \text{s}$.

Hajonta silmälävüyhteisössä on veden lämpötilasta riippuen $0,8 - 4,6 \text{ mgO}_2/\text{g} \cdot \text{d}$, eli kasvukaudessa keskimäärin $3,5 \text{ mg O}_2/\text{g} \cdot \text{d}$ ja vuodessa $2,5 \text{ mg O}_2/\text{g} \cdot \text{s}$ (2).

Kuten todettiin rihmalevien aiheuttama veden laadun huononemisen syynä on orgaanisen aineksen jäämä ja tekojärveen tulevan orgaanisen aineksen määrä, eli likaantumispotentiaali ($N_1 \text{ gO}_2/\text{m} \cdot \text{s}$) määrittyy rihmalevien kokonaistuotannon ja hajonnan erona

$$N = A - R = B (a - r) \text{ gO}_2/\text{m} \cdot \text{s}. \quad (5),$$

Yllä mainitun yhtälön avulla voidaan ottaa huomioon rihmalevät likaantumislähteenä laadittaessa ennustetta veden laadusta ja määrittäessä vesiensuojelutoimenpiteitä sekä rihmalevät voidaan lisätä kuormittajana muihin tunnettuihin kuormittajiin (teollisuus- ja asumajätevedet, pintavaluma jne.).

On painotettava sitä, että leväkasvustot vaikuttavat negatiivisesti veden laatuun enemmän tai vähemmän koko vuoden ajan, mikä johtuu elinkierron erityispiirteiden aiheuttamasta levien kuolemista, lajikoostumuksen vaihtelusta kasvukauden aikana tai epäedullisista elinolosuhteista (vedenpinnan vaihteluista, meteorologisisista tekijöistä jne.). Hajoamisprosessi saattaa syksyllä hidastua lämpötilojen laskiessa ja voimistua uudelleen lämpiminä kausina ja keväällä lämpötilojen noustessa. Tästä syystä on tarkoituksenmukaista käyttää ilmentäjien vuosikeskiarvoja. Tällöin on huomattava, että BOD:n kasvu saattaa joinakin kuukausina rihmalevien massakuolemien tapahtuessa, olla 2-3 vuosikeskiarvoja korkeampia.

Rantaluiskien rihmaleväkasvustojen haittavaikutusten pienentämiseen on tarkoituksenmukaista käyttää biologisia menetelmiä. Se voidaan tehdä korvaamalla tekojärven litoraalialueella kasvavat lyhyen kasvukauden mikrofytyt pitkän kasvukauden makrofytyillä (järviruoko, kaisla ja muut ilmaversoiset vesikasvit).

Valo-, ravinto- ja aluekilpailussa ruoko pienentää huomattavasti rihmalevien esiintymisaluetta ja määrää, minkä seurauksena myös niiden haittavaikutukset veden laatuun vähenevät. Samalla on todettu, että ilmaversoiset vesikasvit puhdistavat varsin tehokkaasti vedestä erilaisia likaavia aineita, kuten esimerkiksi sellaisia helposti hapettuvia orgaanisia aineita, joiden määrä ilmaistaan kok. BOD:llä. Pääroolia tässä prosessissa näyttelee tutkimusten mukaan kasvuston bakteriaalinen periphyton. Järviruoko'on puhdistusintensiteetiksi kok. BOD:n suhteen arvioidaan alueella $20 - 3 \text{ gO}_2/\text{m}^3$ ominaispuhdistuskyvyllä $1,87 \cdot 10^{-4} \text{ gO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ (3).

Puhdistustehon ja viherlevien tukahduttamisen ohella tekojärven ranta-alueella kasvavat ilmaversoiset vesikasvit suojaavat rantoja eroosiolta, koska ne vahvistavat maaperää juuristollaan, joka ulottuu 60 cm:n syvyyteen asti ja jonka biomassa on yhtä suuri kuin maanpäällisen osan biomassa. Ilmaversoisten vesikasvien rannan suojausvaikutusta tehostaa

lisäksi se, että ne pienentävät aaltojen rantaluiskaan aiheuttamaa eroosiota.

Nämä ruokokasvustojen ominaisuudet ovat olleet perustana kehitettäessä ranta-alueelle biologista vyöhykettä, joka käyttää ilmaversoisia vesikasveja vesien puhdistamiseen ja rantojen suojaukseen. Biologisen vyöhykkeen tekniset perusparannukset ja mahdollisia toteutusvaihtoehtoja on esitetty kirjallisuusviitteessä (4).

Eräänä tämän esitelmän aihepiiriin kuuluvana ratkaisuna saat-
taa herättää mielenkiintoa biologinen imeytyskenttä, jonka tarkoituksena on turvata tekojärvi valuma-alueelta tulevien pintavesien aiheuttamalta likaantumiselta (5).

Eräs suhteellisen yksinkertainen tapa estää vesistön pintavesien aiheuttama likaantuminen on pintavalunnan kerääminen ja syöttäminen pohjaveteen. Tällöin käytetään hyväksi maaperän luonnollista puhdistuskykyä, joka on erityisen tehokas kiinto- ja orgaanisen aineksen suhteen. Tämä menetelmä on levinnyt laajempaan käyttöön paikoissa, joiden pinnanmuoto on vaihteleva.

Pintavesien syöttämisellä pohjavesiin voidaan hienojakoisen kiintoaineksen vesistöön pääsyn ohella estää myös kasveilta hyödyntämättä jääneiden tai hajoamattomien pestisidien ja lannoitteiden pääsy vesistöön.

Loppuosa aineista, jotka eivät pidäty maaperään, joutuvat pohjavesiin ja niiden mukana edelleen vesistöihin.

Tämä johtaa siihen, että pintavedet on puhdistettava ennen niiden syöttämistä pohjavesiin. Tämä ongelma on erityisen vaikea alueilla, joilla rakennetaan tekojärviä tai toteutetaan useita vesistöalueita käsittäviä vesistöjärjestelyjä sekä rakennettaessa tekojärviä pinnanmuodostukseltaan vaihteleviin paikkoihin, joissa tekojärven rannan läheisyydessä on suuria viljelyalueita. Kasteltujen alueiden salaojavesien uudelleen käyttö on tällä hetkellä yhtä vakava ongelma.

Maatalousalueilta tulevien pintavesien keräämiseen ja puhdistukseen sekä salaojavesien laadun säätelyyn voidaan käyttää biologisia imeytysvyöhykkeitä. Ajatuksena on ohjata veden laatua vyöhykkeissä käyttämällä hyväksi korkeampien vesikasvien biokenoosien puhdistuskykyä ja maaperän vastaavia ominaisuuksia.

Biologinen imeytysvyöhyke on ekologisesti soveltava biologis-insinööritekninen järjestelmä, johon kuuluu imeytyslaitteisto (altaat, kanavat ym.) pintavesien johtamiseksi pohjavesiin sekä korkeammista vesikasveista muodostuvat kasvustot.

Tällaisten järjestelmien toimintaperiaate perustuu imeytuskentissä tapahtuvien fysikaalis-kemiallisten puhdistusprosessien ja korkeampien vesikasvibiokenoosien puhdistuskyvyn yhteisvaikutukseen. Tällöin suotautuva vesi on yhteydessä koko kasviin, sekä varteen että juuriin, minkä seurauksena makrofyyttien puhdistuskyky tulee paremmin hyödynnetyksi kuin maaimeytuskentässä, jossa käytetään hyväksi pintavesien transiittivirtauksia (4). Kasvien juuristojärjestelmä läpäistessään suodattavan pintamaan parantaa maan suodatusominaisuuksia.

Imeytyskenttiä, jotka eivät vaadi erityisiä pääoma- ja käyttökustannuksia, voidaan käyttää ennaltaehkäisevinä toimenpiteinä suojeltaessa pinta- ja pohjavesiä maatalous- ja salaojavesien aiheuttamalta likaantumiselta.

Tässä esitelmässä esitettyjä vesistön sisäisen kuormituksen kvalitatiivisten menetelmien vaikutuksesta tekojärvien veden laatuun on käytetty laskentaperusteina kokeellisessa Dnepr - Doubass-kanavan vesiensuojelun kokonaisratkaisussa, johon kuuluvat yllä esitetyt tekniset laitteet eutrofituneiden tekojärvien vedenkäyttöolosuhteiden parantamiseksi: planktonin pääsyn vedenottolaitteisiin estävä laitteisto sekä ranta-alueella sijaitseva tärkeämmistä vesikasveista muodostuva biologinen vyöhyke ja maaimeytyskenttä.

KIRJALLISUUS:

1. Ståhlberg, F.V., Oksijuk, O.P., Oleinik, G.N. "Veden kinnan vaikutuksen huomioiminen kok. BOD-arvoihin laadittaessa ennusteita ja ohjattaessa virtaavan vesistön veden laatua". Teoksessa: Luonnonvesien laadun säätely. Tieteellisten tutkimusten kokoomateos, Karkov, VNIIVO, 1984, s. 130 - 136.
2. Oksijuk, O.P., Ståhlberg, F.V., Sotnikov, V.N. "Rihmalevien kvalitatiivinen arvio kanavien veden laadun huononemisessa". Hydrologin aikakauslehti. Osa XVI, julkaisu 6, Kiev, 1980, s. 79 - 84.
3. Sukatš, I.S. "Rannalla sijaitsevan bioplaton käyttömahdollisuudet kanavien veden laadun säätelemisessä. Teoksessa: Luonnonvesien laadun säätely. Tieteellisten tutkimusten kokoomateos. Karkov, VNIIVO, 1984, s. 136 - 141.
4. Oksijuk, O.P., Ståhlberg, F.V., Oleinik, G.N. et.al. Bioplato ja sen käyttö kanavissa. Hydroteknika i melioratsija, 1980. Nro 8, s. 66 - 70.
5. Magmedov, V.G., Ståhlberg, F.V., Belitšenko, J.P. "Biologis-insinööritekniset järjestelmät vesistön suojelussa".
6. Ståhlberg, F.V., Ilpewskij A.V., Sotnikov, U.N. et.al. "Vesiensuojelu vesistöjärjestelyssä". Gidroteknika i melioratsija. Nro 12, 1978, s. 83 - 88.

Jussi Hooli, prof.
Oulun yliopisto
Vesirakennustekniikan laboratorio

Maanparannus- ja vesi-
taloussymposio
Tbilisi 19.11.1987

Tekojärvien rakentaminen virkistystarkoituksiin ja maisemajärveksi.

- Kokeilukohteena olevalla tekojärvellä saatujen tutkimustulosten valossa.

1. Johdanto

Suomessa tekojärviä on rakennettu ensisijaisesti tulvasuojelua ja vesivoiman tuotantoa varten. Tärkeitä tavoitteita ovat olleet lisäksi vedenhankinta, vesiliikenteen ja uiton edistäminen. Tekojärvien sijainnista ja käyttötavasta riippuen on samalla onnistuttu myös parantamaan virkistyskäytön mahdollisuuksia. Näin on käynyt virkistyskalastuksen osalta mm. Kemijoen vesistöalueen latvoilla olevilla suurilla tekoaltailla (Lokka ja Porttipahta). Erityisesti vähäjärvisellä Pohjanmaalla muutamat tulvasuojelua varten rakennetuista tekojärvistä ovat samalla muodostuneet merkittäviksi virkistyskeitaiksi ympäristönsä asukkaille.

Yksinomaan virkistyskäyttöön ja maiseman parantamiseksi rakennettuja tekojärviä Suomessa on vain muutamia. Tarvetta niiden rakentamiseen on rannikkoseudulla, jossa luonnonjärviä pinnanmuodostuksen seurauksena on hyvin vähän, mutta jossa asutusta on varsin paljon, etenkin maamme eteläosassa. Kooltaan rakennetut virkistyskäyttöjärvet ovat olleet yleensä varsin pieniä, keskimäärin 4-20 ha. Rakentamista ovat olleet puuttuneiden rahoitusmahdollisuuksien ohella rajoittamassa vähäinen kokemus ja tietämys siitä, kuinka tällainen tekojärvi olisi tarkoituksenmukaisinta rakentaa parhaimman lopputuloksen saavuttamiseksi.

Erityisesti turveperäiselle maapohjalle rakennettavien tekojärvien osalta on katsottu välttämättömäksi kerätä monipuolisesti tietoa muutamista koelun- teisesti tehdyistä tekojärvistä, joiden rakentamista ja käyttöä seurataan intensiivisin tutkimusohjelmin. Merkittävin em. tutkimuskohteena olevista tekojärvistä on Piipjärvi.

2. Kokeilujärven vesitys

Piipsjärvi sijaitsee Keski-Pohjanmaalla Oulaisten pienehkössä kaupungissa Pyhäjoen vesistöalueella. (Kuva 1). Kaupungin väestömäärä on runsaat 8000, joista noin 60 % asuu keskustaa-ajamassa järven läheisyydessä. Piipsjärvi on itse asiassa entinen luonnonjärvi, mikä laskettiin vuosina 1881-87 viljavien rantaniittyjen kuivattamiseksi. Arvostusten merkittävästi muututtua laadittiin 1970-luvun alussa suunnitelma järven palauttamiseksi. Tavoitteena oli muodostaa Piipsjärvestä virkistyskäyttöön ja maisemajärveksi sopiva tekojärvi, jolle asetettiin mm. seuraavat vaatimukset:

- Järven vesipinnan tarpeeksi suuri nosto, jotta estetään mm. ruohottuminen. Vesipinta-alasta olisi oltava 3/4 osaa avointa selkää.
- Vesipinnan mukauttaminen korkeustasolle, jolla " luonteva rantaviiva" muodostuu helposti.
- Viljeltyjen rantojen avonaisuuden turvaaminen estämällä laajojen vedenvai-vaamien alueiden muodostuminen. Sentähden rantapeltoja olisi viljeltävä noston jälkeenkin rantaan saakka. Tällöin järvestä voi muodostua merkittävä maisematekijä.
- Virkistyskäyttöön sopivien rantojen muodostaminen.
- Pintaan nousevien turpeiden määrä olisi oltava rajoitettu ja jälkikäteen kohtuullisin kustannuksin poistettavissa.
- Järven tulee soveltua veden laatunsa puolesta uintiin ja siinä tulee ainakin särkikalajien ja ahvenen viihtyä.
- Järveen ei tulla johtamaan jätevesiä.
- Vesioikeuskäsittelyä varten suurin osa veden alle jäävästä alueesta aiheutu- vista korvauksista olisi sovittava etukäteen maanomistajien kanssa.

Kun edellytykset em. vaatimusten kohtuulliseksi täyttämiseksi olivat olemassa, ryhdyttiin vesihallituksen toimesta ko. hanketta tutkimaan ensisijaisesti koetar-koituksessa ja kokemusten saamiseksi laskettujen järvien nostamisesta.

Piipsjärven yläpuolinen valuma-alue on 550 km² ja sen järvisyys 3,8 %. Järveen laskevan joen keskivirtaama (MQ) on 4,5 m³/s, keskialivirtaama (MNQ) 0,8 m³/s ja ylivirtaama HQ 1/50 95 m³/s. Tekojärven pinta-ala on 415 ha kesäai- kana ja tilavuus 6 miljoonaa m³. Tekojärven pohja raivattiin ennen vedennos- toa, mikä tapahtui v. 1978. Mahdollisten kalavahinkojen kompensoimiseksi rakennettiin tekojärven yhteyteen 3 ha:n suuruinen luonnonravintolammikko.

Järven vesi vaihtuu 25 kertaa vuodessa, minkä johdosta ei ollut yleensä odotettavissa muutoksia veden laadussa. Kuitenkin kevättalven kuivakausina

viipymä järvessä voi olla noin 60 d, jolloin syntyi hankaluuksia välittömästi vedenhoston jälkeisinä vuosina. Tärkeimpinä parametreinä on seurattu seuraavia vedenlaatutekijöitä: happipitoisuus, pH-luku, väri, kemiallinen hapentarve, rautapitoisuus, kiintoainepitoisuus, ravinteet (fosfori ja typpi) sekä hygienianindikaattoreina pidettävien suolistobakteereiden määrä.

Piipsjärven kasviplanktonia on tutkittu vuosina 1979-83 1-3 kertaa kesässä. Planktonbiomassan mukaan järvi on oligotrofis-mesotrofinen. Järven klorofyllipitoisuudet ovat korkeita ja klorofyllien osuus biomassasta on keskimääräistä suurempi. Tämä aiheutuu veden tummuudesta. Kuitenkin klorofyllipitoisuudet ja kasviplanktonilajisto osoittavat, että veden laatu on vähitellen selkenemässä noston jälkeisestä tilanteesta.

Uudessa virkistyskäyttökelpoisuusluokituksessa Piipsjärveä on pidetty tyydyttävänä (III). Kaikkiaan luokkia kelpoisten vesien osalta on viisi. Luokka I edustaa parhaita ja luokka V huonointa. Vastaavasti veden laadullinen kelpoisuus vedenhankintaan ja kalavedeksi on todettu välttäväksi (IV).

Tekojärveä edeltävällä vesijätöllä vedenkorkeus on ollut kesäaikana $N_{43} + 71,00 \dots 71,50$ m. Suurin havaittu tulvankorkeus on ollut $N_{43} + 74,47$ m ja arvioitu MHW $N_{43} + 73,75$ m. (Kuva 2). Järven nosto tapahtui rakentamalla kiinteä ylisyyksypato, joka tulva-aikana toimii pohjapatona. Padon harja on 100 m pitkä ja harjan korkeus on $N_{43} + 73,25 \dots 73,35$ m. Tämän johdosta padon purkautumiskyky suurimmalla virtaamalla on korkeudella $N_{43} + 74,50$ m HQ:ta vastaava, joten tulvakorkeus ei nouse sanottavasti aikaisemmasta. Kesänaikaisilla virtaamilla vedenkorkeus järvessä vaihtelee korkeudella $N_{43} + 73,35 \dots 73,75$ m, joten vedenkorkeus nousi runsaat 2 m. Järven keskisyvyys on 1,45 m, mutta syvimmillä kohtaa järvessä on kesällä vettä noin 2 m. Vielä syvempiä kohtia on järven keskelle kaivetussa vanhassa kuivatusuomassa, jossa veden syvyys on suurimmillaan 4 m.

Piipsjärven rannalle on rakennettu kaksi rantapengerrystä, joilla on suojattu 52 ha peltoa. Tulvapenkereet on rakennettu etupäässä järven pohjasta kaivetusta maasta. (Kuva 3). Penkereiden harjakorkeus on vähintään $N_{43} + 75,50$ m, harjan leveys on 3,0 m, järven puoleisen luiskan kaltevuus 1:3 ja takaluiskan kaltevuus 1:8. Penkerein muodon valintaan oli perusteluina mm. kulkumahdollisuus, maastoon sopivuus, takaluiskan viljelymahdollisuus sekä massojen myöhempi lisäämistarve painumien vuoksi. Penkereiden sijainti määritteli

osaaltan järven suurimman sallitun tulvakorkeuden, sen johdosta että pengerkorkeutta on rajoittamassa maapohjan vähäinen kantavuus. Pengerryksien ansiosta on voitu säilyttää rantapellot viljelyssä, mitä järjestelyä tärkeiden maisemallisten syiden ohella on puolustamassa maatilojen elinkelpoisuuden säilyttäminen.

Järven rannoille tuleva hyöty arvioitiin ennen sopimusten tekoa, samalla tavalla kuin maanomistajille tuleva vahinkokin. Mikäli hyöty oli vahinkoa suurempi ei rannanomistajille maksettu korvauksia. Maksetut rahamääräiset korvaukset olivat hankkeen laajuuteen verrattuna käytännössä merkityksettömät.

3. Turvelauttojen poisto

Suurin yllätys tekojärvellä on aiheutunut turvelauttojen oletettua runsaammasta noususta vedenpintaan. Turpeen sisässä kehittyi erityisesti lämpöisinä kausina kaasua, josta noin 70 % on metaaniaa.

Turvelauttoja on todettu olevan sekä ns. mustia että vihreitä. Mustien lauttojen esiintyminen on merkittävästi riippuvainen lämpötilasta. Lämpimimpänä aikana loppukesästä runsaan kaasumuodostuksen seurauksena mustat lautat nousevat vedenpintaan, kunnes ne painuvat vettyneinä syksyllä ennen talven tuloa takaisin pohjaan. Nyt 7 vuoden kuluttua veden nostosta ne ovat yhä suuremmassa määrin jääneet pysyväisesti pohjalle. Sentähden mustien lauttojen poistamisessa ei ole syytä liikaa kiirehtiä. Sen sijaan ns. vihreät lautat eivät painu pohjaan ilman toimenpiteitä. Myöskään tuuli ei ole kyennyt niitä rikkomaan Piipsjärven kokoisessa altaassa.

Suurimmillaan lauttojen määrä olisi ollut 80 ha noin 3 vuotta vedenpinnan noston jälkeen (v. 1981 - 82), ellei sitä ennen olisi suoritettu lauttojen painotusta tai siirtoa osittain rannoille. Kun turvelauttojen määriä on seurattu joka kesä ilmakehuvausten avulla, on saatu melko tarkka ja havainnollinen käsitys tilanteen kehittymisestä. Nyt 7 vuotta noston jälkeen (kesällä 1985) järvi on pohjoispäätä lukuunottamatta lähes vapaa turvelautoista.

Kelluvien turvelauttojen poistamista ja hyödyntämismahdollisuutta ranta-alueella sekä tekojärven lisäkunnostusta on tutkittu myös Oulun yliopiston vesirakennustekniikan laboratoriossa. Edullisimmaksi turvelauttojen poistossa

järvialueelta osoittautui sellainen menetelmä, jossa turvelautat sahataan talvella sopivan kokoisiin paloihin ja hinataan sulan kauden aikana rantaan. Kivennäismaalla tehty yhtenäinen painotus osoittautui kustannuksiltaan kalliimmaksi. Tosin kustannuksia voitiin alentaa käyttämällä painotusta kaistoittain, mutta se todettiin turvelauttojen uppoamisen kannalta epävarmaksi keinoksi.

Järveltä poistettujen turvelauttojen hyödyntämistä on kokeiltu törmittämällä niitä rumannäköiselle ja alavimmalle ranta-alueelle. Työn yhteydessä matalaa rantaa on syvennetty, jotta turvelautat olisi saatu hinatuksi mahdollisimman lähelle ylösnostoa varten. Ruoppauskalustona oli laahakaivukone, joka liikkui vedessä ponttooneista kootun lautan päällä. Ruoppauksen jälkeen turvelautat hinattiin vinssillä rantaan, josta ne nostettiin laahakaivukoneella maalle. Turve- ja ruoppausmassat on muotoiltu rantatörmäksi järven puolelta kaltevuuteen 1:3. Törmitetyllä koealueella on tehty seurantatutkimusta, jota varten luiskia on vahvistettu eri tavoilla: hinatuilla turvelauttalevyillä, pajulla, hiekalla sekä hiekka-suodatinkangasyhdistelmällä. Seurannassa tutkitaan myös maapohjan ja rakennetun törmän painumista. Sitä seurataan törmitysalueelle asennettujen painumalevyjen avulla ja törmän korkeuksia vaaitsemalla. Kuvassa 4 on esitetty turpeenpoistotöiden ja törmityskokeilujen sijainti Piipsjärvellä.

Alustavat tulokset osoittavat kahden vuoden aikana (1983-85) painumien jääneen teoreettisia laskelmia pienemmiksi. Siihen ovat vaikuttaneet, ettei törmityspenkereitä ole myöhemmin korotettu ja pohjavedenpinta on ollut suhteellisen korkealla. Ennen kaikkea saadut tulokset korostavat, että painumien seurantaa on syytä jatkaa. Koeluiskista turvelautoista rakennettu verhoilematon luiska on kestänyt tähän asti parhaiten järvellä vallitsevat olosuhteet. (Kuva 5). Syöpyminen ja kuluminen on ollut vähäistä ja luiska on säilyttänyt hyvin muotonsa. Lisäksi luiskatyyppi on erittäin edullinen, koska sen verhoilusta ei aiheudu lisäkustannuksia.

Törmitysalueet on otettu viljelykseen kaksi vuotta rakennustöiden jälkeen niiden riittävästi kuivuttua. Kuivatus on tehty rannansuuntaisilla avo-ojalla, josta vedet on johdettu järveen sarkaojia pitkin. (Kuva 6). Käyttöönottoa on edeltänyt koealueiden puhdistus kannoista ja kivistä, niiden tasaus ja karhittaminen sekä kalkitus ja peruslannoitus. Viljelykasvina on tavallinen peltoheinä, mikä on menestynyt hyvin.

Törmitettyä aluetta voidaan käyttää nyt maataloudessa hyödyksi, samalla kun alueen maisemallinen arvo on noussut. Aikaisemmin alava alue oli käyttökelvotonta, sillä epämääräistä rantavyöhykettä hallitsivat puurungot, risut, kannot sekä murentunut turvemassa. Törmittämisen jälkeen rantaviiva on selkeä ja alue muodostaa ympäristön avaraan viljelymaisemaan hyvin sopeutuvan kokonaisuuden.

Tekojärven rakentamisen kokonaiskustannukset ovat olleet vuoden 1986 hintatassossa 6.2 miljoonaa markkaa, josta pengerrykset ovat maksaneet 2.5 miljoonaa mk ja pohjapato sivupenkereineen 1.5 miljoonaa markkaa. Varsinaisen noston jälkeisiin turvelauttojen poistoon, rantojen törmityksiin ja pengerrysten korjauksiin on kulunut noin 1 miljoonaa mk. Viimeksimainittujen töiden kustannuksia on ollut lisäämässä niiden koeluonteisuus.

4. Lisäkunnostustarve

Parhaillaan käynnissä olevassa seurantatutkimuksessa arvioidaan mahdollista lisäkunnostustarvetta saatujen kokemusten valossa. Tätä silmälläpitäen on haastateltu ranta-alueiden omistajia. Haastattelu on sisältänyt järven kunnostukseen sekä kalastukseen samoin kuin alueelle Oulaisten kaupungin toimesta laadittuun osayleiskaavaan liittyviä kysymyksiä. Tämän mukaan Piipsjärvi on tärkeä sekä rantakylän asukkaille että Oulaisten kaupungille. Parhaillaan järvelle kehitetään virkistyspalveluja kaikkien kaupunkilaisten tarpeita varten. Tärkeänä nähdään maaseutumaisen miljöön säilyttäminen ja rikastuttaminen, minkä johdosta rantavyöhykkeet pyritään rauhoittamaan rakentamiselta.

Varsinainen vesialue täyttää rannanomistajien mielestä aika hyvin asetetut odotukset. Suurimpina epäkohtina pidetään selvän rantaviivan puuttumista ja sitä myöten rantapeltojen vettymistä. Lisäksi rantavyöhykkeellä oleva turvemassa, heinikkö, risukko ja kannokko haittaa virkistyskäyttöä ja pilaa vesimaisemaa. Näistä syistä rantatörmitysten ulottamista muillekin alaville ranta-alueille pidetään välttämättömänä. (Kuva 7). Myös kalastusta ja kalanistutustoiminnan jatkamista pidetään tärkeänä.

Lisäkunnostustarpeen arvioimiseksi tekojärven nykyistä tilaa on seurattu mm. edelläkerrottujen ilmakehuvausten, vedenlaatuhavaintojen sekä biologisten tutkimusten avulla. Lisäksi järvellä on tehty laajoja kasvillisuuskartoituksia. Myös ranta-alueiden vettymishaittoja, niihin vaikuttavia syitä sekä keinoja

niiden poistamiseksi on arvioitu.

Tärkeinä toimenpiteinä on parhaillaan pohdittavana ne mahdollisuudet, joilla veden nykyistä laatua voitaisiin erityisesti kalatalouden tarpeisiin parantaa. Tälläisinä keinoina voivat tulla kysymykseen järven valuma-alueelle tulevan ravinnekuormituksen pienentäminen, järven talviaikainen ilmastaminen riittävän happipitoisuuden ylläpitämiseksi sekä järven pohjasedimentin ruoppaus ja kasvillisuuden poisto. (Kuva 8).

5. Loppupäätelmät

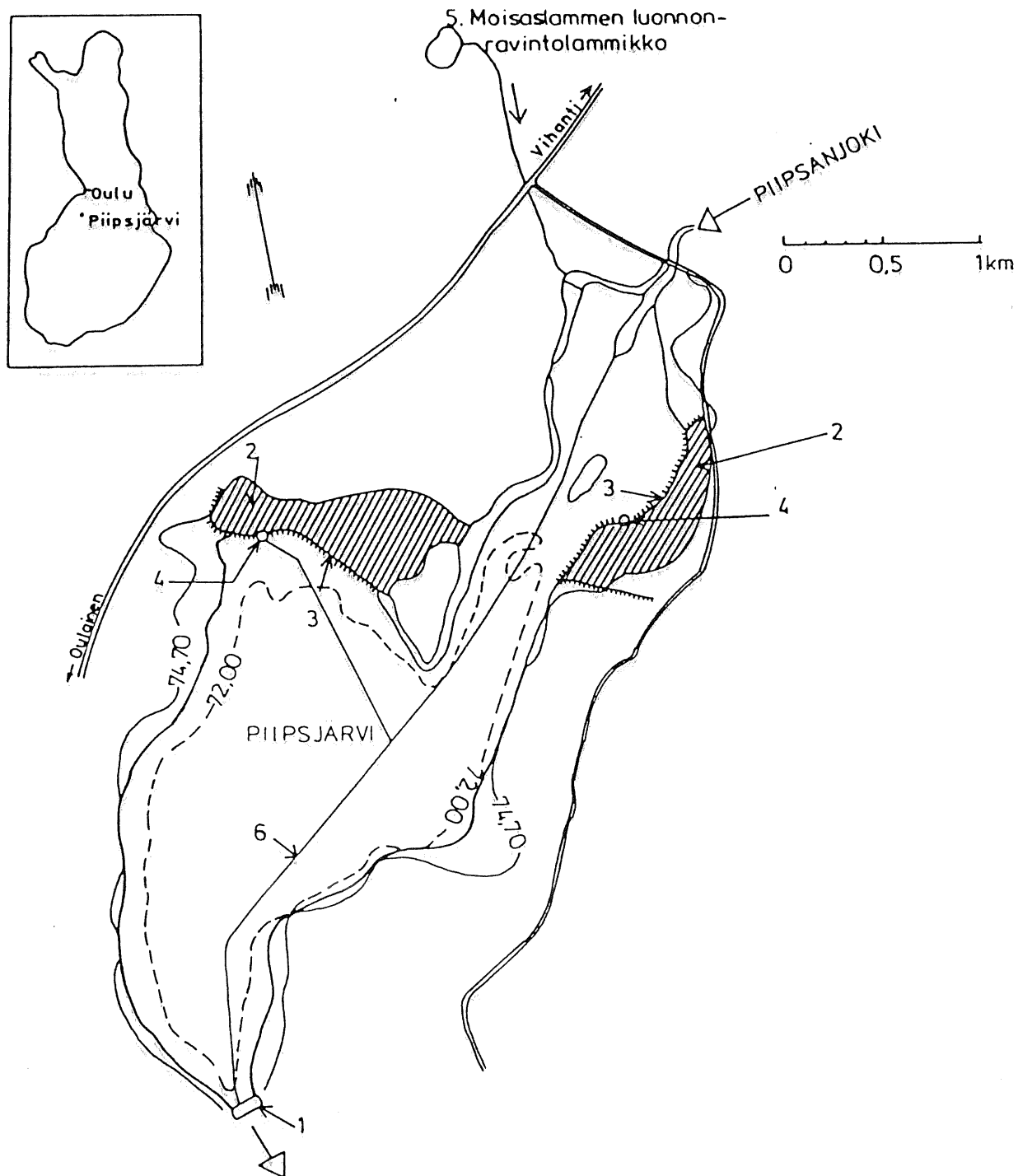
Kokeiluluonteensa vuoksi Piipsjärven tekojärven rakentamiseen on sisältynyt tavanomaista suuremmat riskit. Kuitenkin pääpiirteissään tekojärven rakentamisessa turveperäiselle maapohjalle on onnistuttu edellytetyllä tavalla. Sen ansiosta on saatu kaupungin läheisyyteen maisemajärvi, mikä on kaupungin ainoa vesielementti. Edellämämainituista syistä järvi on myös tärkeä virkistyskohde, jota todistaa mm. virkistyskalastajien ja veneiden runsaslukisuus. Myös järven ranta-asutus on noston jälkeen voimakkaasti elpynyt.

Oulaisten kaupunki on suhtautunut hankkeeseen erittäin myönteisesti. Alueelle laaditussa osayleiskaavassa järven virkistyskäytön suunnittelu on tärkeänä osana. Varsinaiset virkistystoiminnot on suunniteltu keskitettävän Kurjenlahden ja Haikosaaren alueille, joista on tarkoituksena kehittää monipuoliset virkistyskeskukset. (Kuva 8) Niihin on suunniteltu rakennettavaksi mm. uimaranta, venevalkama, peli- ja leikkikentät, kuntorata, nuotio- ja kokoontumispaikat sekä rantasauna. Tähän mennessä järvelle on rakennettu yleinen uimaranta ja venevalkama. Toisaalta nämä suunnitelmat ovat lisäämässä järveen kohdistuvaa lisäkunnostustarvetta.

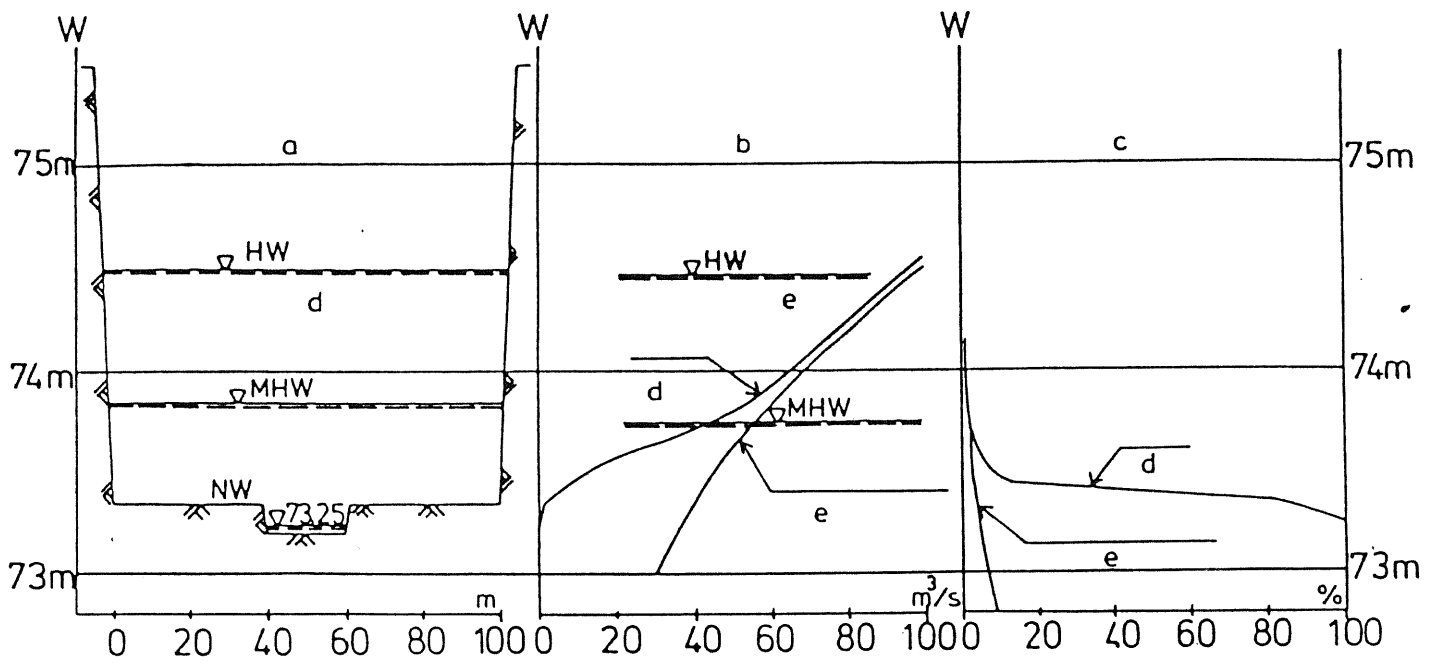
6. Lähdeaineisto

- 1) Ihme Raimo 1983. Tekojärvestä poistettujen turvelauttojen hyödyntämismahdollisuudet sovellutuskohteena Piipsjärvi. Diplomityö. Oulun yliopiston rakentamistekniikan osasto. 151 s.
- 2) Muotiala Simo 1986. Piipsjärven palauttaminen takaisin järveksi. Vesihallitus suunnittelutoimisto. Muistio 3.3.1986. 11 s.

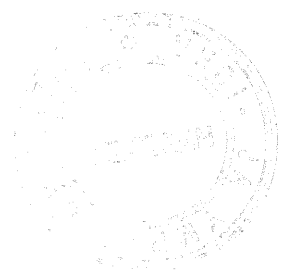
- 3) Poropudas Kari 1981. Tekojärvien turvelauttojen poistamismenetelmät. Diplomityö. Oulun yliopiston rakentamistekniikan osasto. 84 s.
- 4) Vesanto Pekka 1986. Piipsjärven lisäkunnostustarpeen arviointi. Diplomityö. Oulun yliopiston rakentamistekniikan osasto (käsikirjoitus).



Kuva 1. Piipsjärven vedennoston yleiskuva (Ihme 1983)

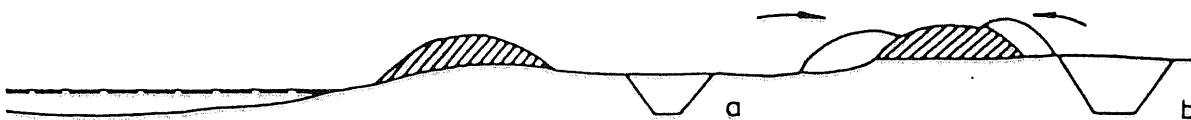


Kuva 2. Piipsjärven säännöstely

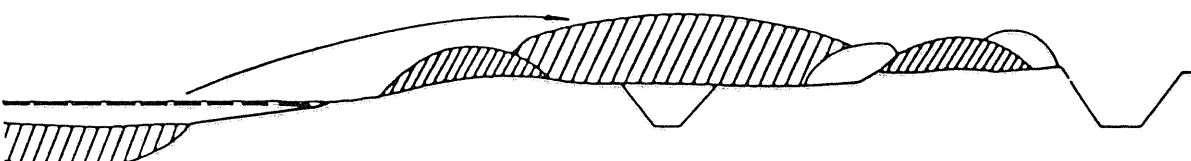




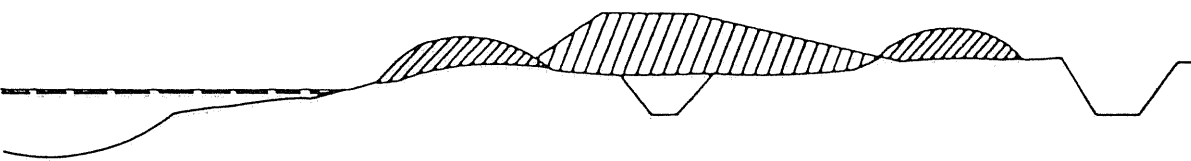
1. Pengeralueen puhdistus



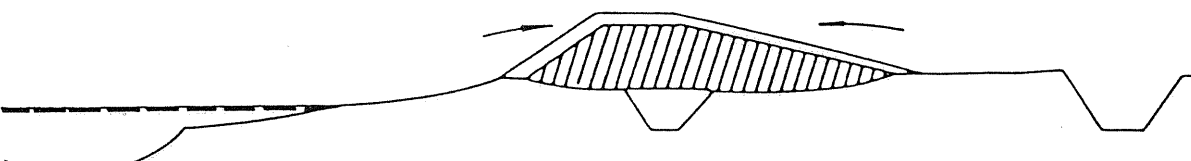
2. Tiiviste- ja kuivatusojan kaivu



3. Pengermassan siirto



4. Penkereen muotoilu

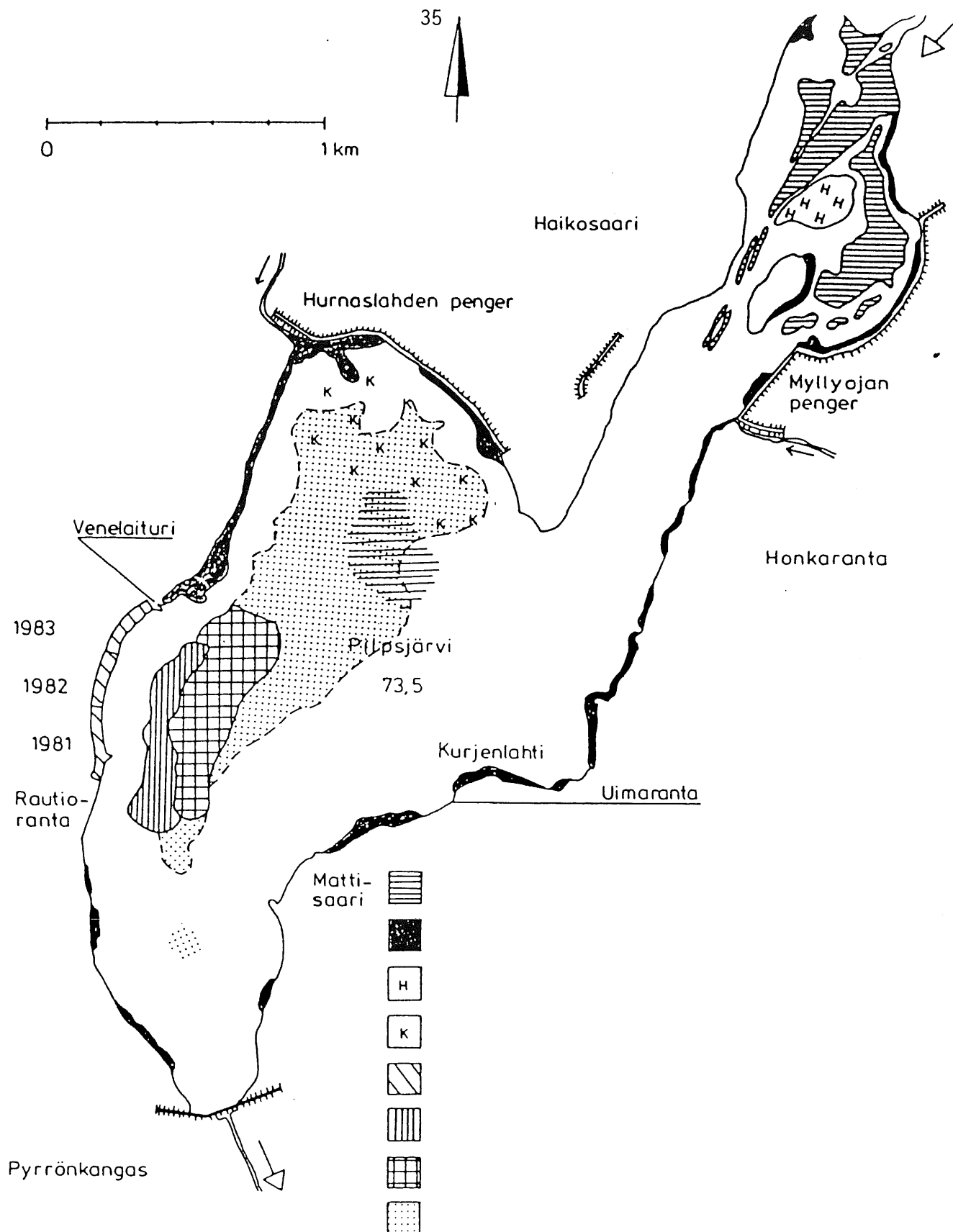


5. Penkereen verhoilu ruokamullalla

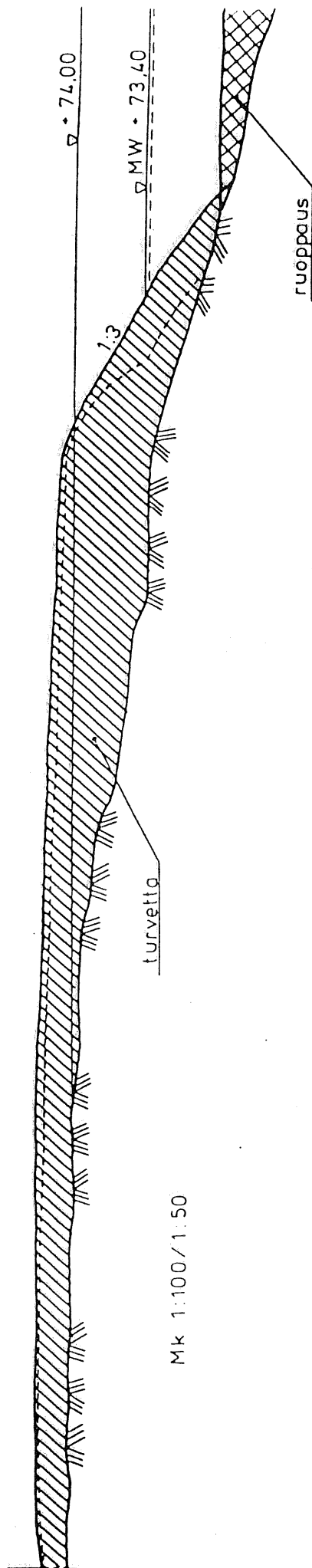
a. Tiivisteoja

b. Pengerrysalueen kuivatusoja

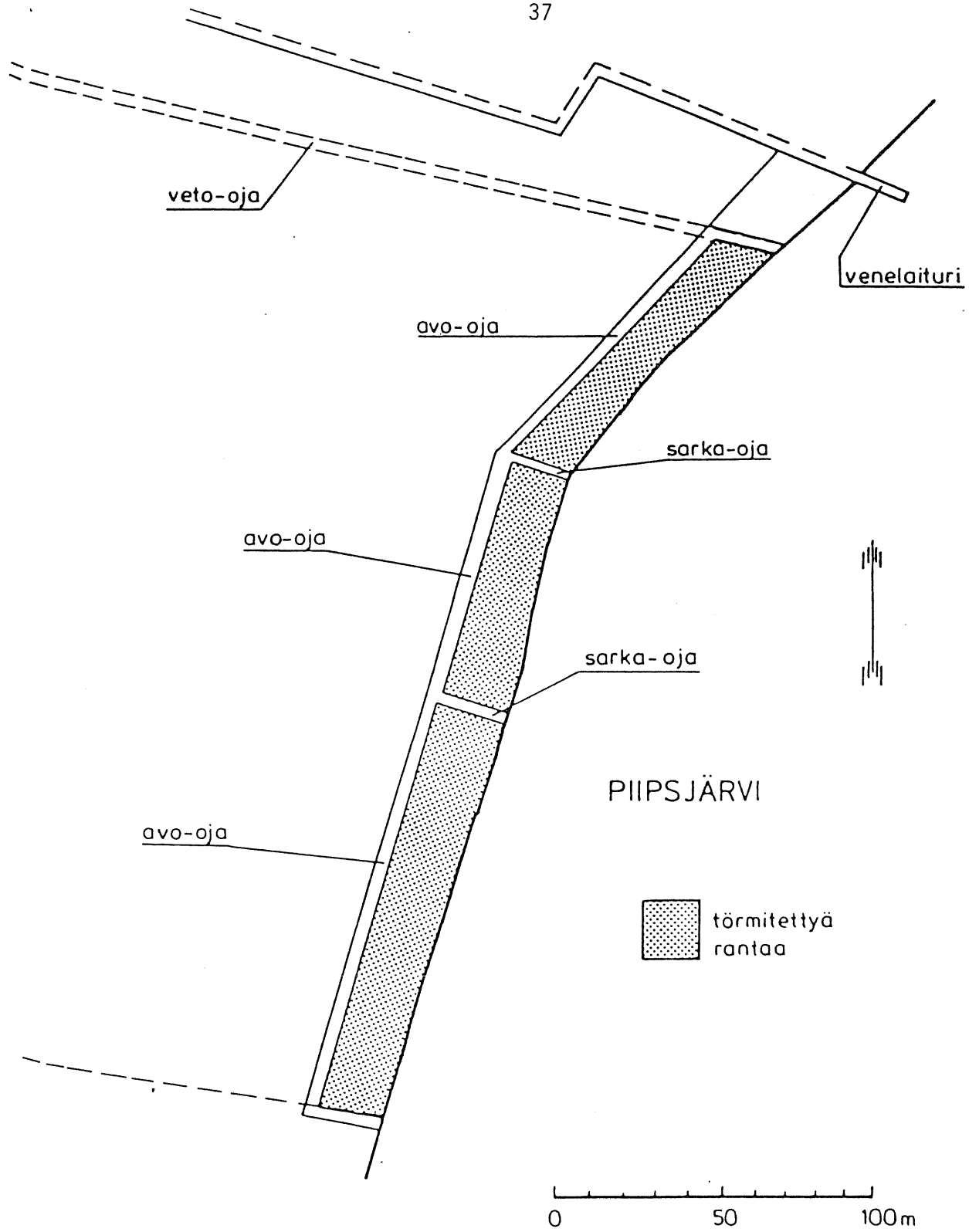
Kuva 3. Tulvapenkereen rakentaminen työvaiheineen



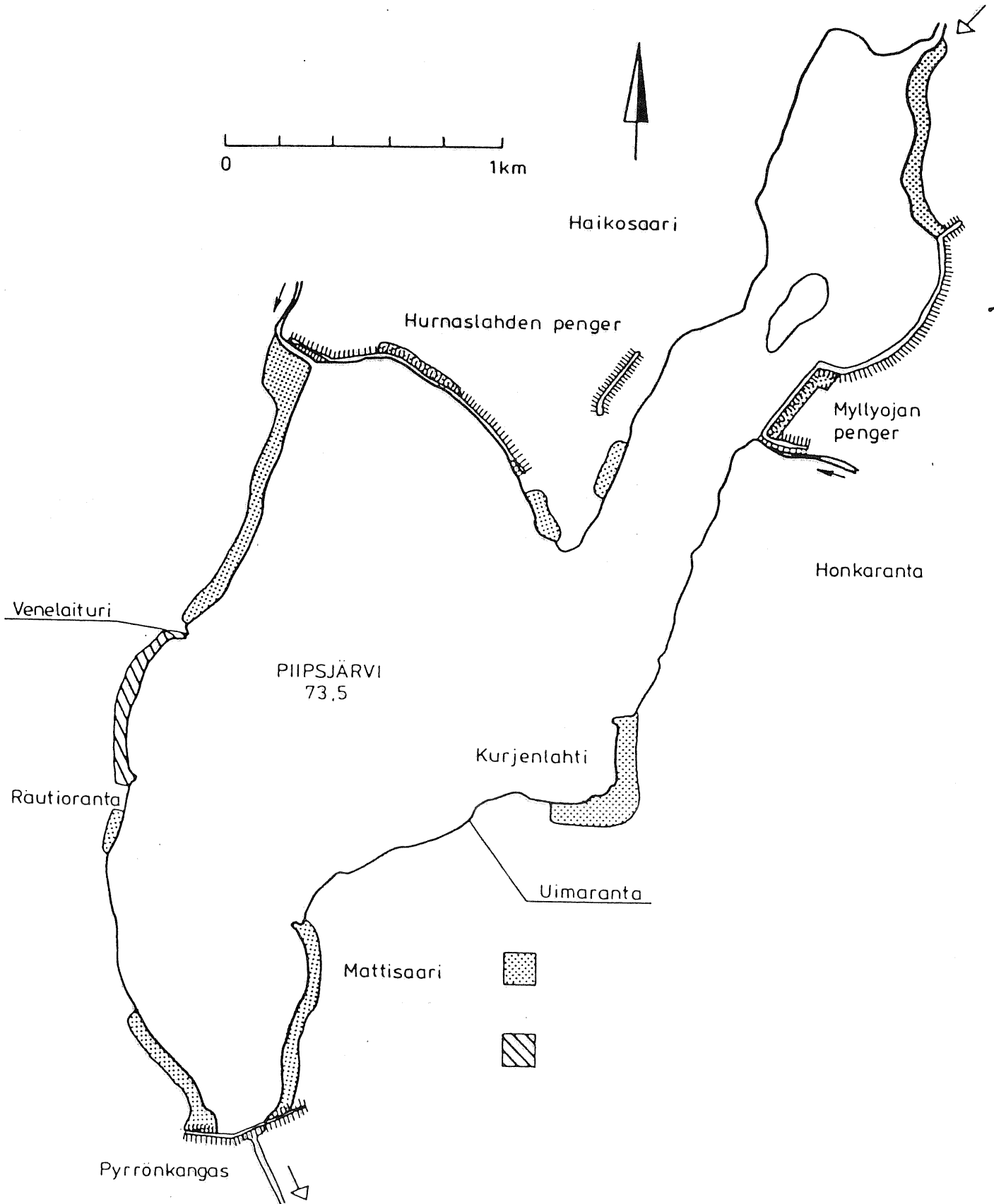
Kuva 4. Piipsjärven ranta- ja vesikasvillisuus kesällä 1985 sekä aikaisemmin tehdyt turpeenpoistotyöt ja törmitykset (Vesanto 1986)



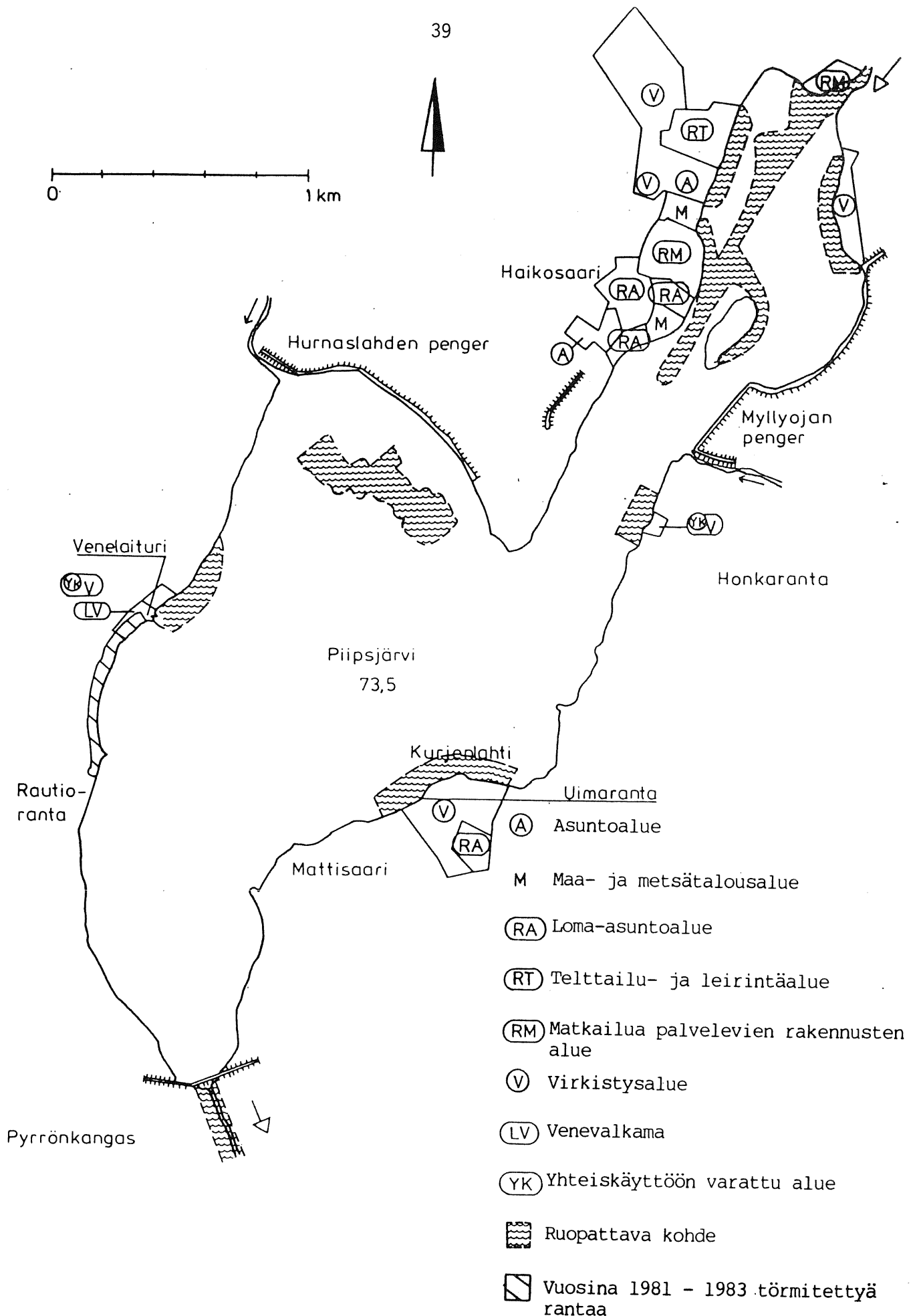
Kuva 5. Piippsjärven törmitysalue. Pelkän turvetörmän poikkileikkaus.
 Luiskan kaltevuus 1:3. Törmän alkuperäinen korkeus (23.8.1983)
 on merkitty täydellä viivalla ja kaksi vuotta myöhemmin määri-
 tetty korkeus (25.9.1985) katkoviivalla



Kuva 6. Piipsjärvi. Kokeiltavan törmitysalueen kuivatus (Ihme 1983)



Kuva 7. Piipsjärven vettyneet ranta-alueet kesällä 1985
(Vesanto 1986)



Kuva 8. Piipsjärven suunnitellut ruoppauskohteet ja ranta-alueiden tärkeimmät virkistyskäyttökohteet osayleiskaavan mukaisesti (Vesanto 1986)

T. N. Jurovskaja
L. Ja. Smirnova
Lengiprovodhoz

Maanparannus- ja vesi-
taloussymposio
Tbilisi 19.11.1986

VEDEN LAADUN ENNUSTEEN LAATIMINEN TEKOKÄRVISUUNNITELMISSA

Suunniteltavan tekojärven kemiallisen tilan ennusteella on ratkaiseva merkitys määrittäessä niitä vesiensuojelutoimien piteitä, joita käyttösuunnitelman ja vesien käyttäjien vaatimusten mukainen vesivarojen laatu edellyttää. Ennusteella asetetaan tekojärven veden laadun taso tarkastettavalle aikavälille tuotannon kehitys- ja sijoittamis- sekä väestön kasvusuunnitelmien mukaisesti.

Tekojärven vesikemiallisen tilan ennusteeseen kuuluu:

- tekojärveen tulevan veden laadun ennuste,
- ennuste itse tekojärven havaintopaikkojen veden laadusta, joka muodostuu tulevan veden laadun muuttuessa altaassa fysikaalis-kemiallisten biologisten ja biokemiallisten prosessien seurauksena.

Tekojärveen tulevan veden laadun ennusteessa huomioidaan sekä luonnon kuormitus (pääjoki ja sivujoet) että ihmisen toiminnan aiheuttama vaikutus (pistekuormitus-, asuma- ja teollisuusjätevedet, karjatalousjätevedet sekä hajakuormitus - maataloudesta tulevat vedet ja hulevedet jne.).

Ennusteessa määritetään tekojärveen tulevien vesien määrä ja niiden sisältämien eri aineiden pitoisuudet. Ilmentäjinä ennusteeseen kuuluu epäorgaanisten aineiden pitoisuus, BOD, tärkeimpien ionien, ravinteiden (epäorgaaninen ja kokonaisytyppi, epäorgaaninen ja kokonaisfosfori), spesifisten aineiden (ellei toisin määrätä öljyt, detergentit ja fenolit) ja raskasmetallien pitoisuudet.

Tekojärveen tulevan veden laadun muuttumista koskeva ennuste riippuu suuresti tekojärven tyypistä ja tulevasta hydrodynaamisesta tilasta. Virtauksensa puolesta tekojärvet voidaan jakaa normaaleihin ja hidasvirtauksisiin altaisiin. Ensimmäiseen ryhmään kuuluvat tekojärvet ovat kapeita (BCCL) altaita, joille on tyypillistä kyllin selvästi esiintyvä stabiili läpivirtaus määrättyyn suuntaan ja joissa veden virtaukset säätelevät erilaisten likaavien aineiden sekoittumisen ja laimentumisen.

Tämän tyyppisen tekojärven kemiallisen tilan ennuste voidaan tehdä riittävän luotettavasti tasemenetelmällä käyttäen uusiutumiskerrointa. Ennuste laaditaan tekojärven vesitaloudellisen taseen perusteella määrätylle aikavälille vähävetiselle vuodelle (pysyvyys 95 %).

Omskin tekojärven vesikemiallisen tilan ennuste on perusteluaineistojen laatimisvaiheessa tehty tällä menetelmällä.

Suunnittelun alla oleva Omskin tekojärvi kuuluu tekojärvi-luokituksen mukaan kemiallisen tilan muutosten, veden epäorgaanisten aineiden pitoisuuksien ja tärkeimpien ionien koostumuksen perusteella jokiveden vastaaviin ilmentäjiin verrattuna F tyyppin virtaaviin tekojärviin. Sen vedenvaihtuvuutta kuvaava ilmentäjä on yli 2 ja pituutta kuvaava ilmentäjä yli 20. Laskelmat ovat osoittaneet, että tekojärven kemiallista tilaa tulee säätelämään pääasiassa altaaseen tulevan jokiveden laatu, koska muu luonnon oma tai ihmisen aiheuttama kuormitus on suunniteltavan altaan alueella vähäinen. Allas täytetään keväällä tulvavedellä, joka kuuluu hydrokarbonaattiluokkaan ja siinä on vähän epäorgaanisia aineita sekä korkeat epäorgaanisten tyyppien pitoisuudet. Ionikoostumus ei säännöstelyn aikana tule muuttumaan, koska suurin osa altaan tulevasta pohjasta on veden alle jäävää tulvatasannetta. Myöskään vesistön lyhytaikaista eutrofitumista ensimmäisinä vuosina säännöstelyn alettua ei ole odotettavissa. Tekoaltaan kemiallista laatua kuvaavien ilmentäjien vuodenaikaisvaihtelut ovat jokiveden laatuun verrattuna tasaisia, epäkonservatiivisten

aineiden pitoisuudet alenevat itsepuhdistusprosessien ansiosta 30 %:lla.

Ennusteen mukaan tekojärvessä on odotettavissa ammoniumtypen pitoisuuksien (≥ 3 kertaa suurin sallittu pitoisuus kevättulvan aikana) ja öljyjen (2 - 3 kertaa suurin sallittu pitoisuus koko vuoden aikana) pitoisuuden kohoaminen. Tästä syystä on Irtysh-joen yläpuolisella Kazakian SNT:ssa sijaitsevalla valuma-alueella toteutettava lisävesiensuojelutoimenpiteitä ihmisen taloudellisen toiminnan kehittyessä.

Suurille järvimäisille tekojärville on luonteenomaista hidastunut veden vaihtuminen ja sekoittumisessa ovat suurimerkityksellisiä diffuusioprosessit sekä niissä vesipinta-alan kasvun seurauksena syntyvät erilaiset virtaukset.

Eroavuudet veden vaihtumisprosessien kehittämisessä vaikuttavat myös tekojärvien veden laadun muodostumisprosesseihin. Uomaan rakennetuissa tekojärvissä, joissa vesi virtaa altaan läpi koko sen leveydeltä, jätevesien purku aiheuttaa primääristä likaantumista, eli määrätyn veden laadun muutoksen purkupaikan läheisyydessä, mutta ei tehokkaasta laimenemisesta ja sekoittumisesta johtuen aiheuta muutoksia likaavien aineiden yhdisteissä.

Heikosti virtaavissa tekojärvissä, joissa päinvastoin kuin edellä mainituissa ei tapahdu jatkuvaa vesimassojen sekoittumista, sekoittumisen aiheuttavat ajoittaiset, yleensä tuulen synnyttämät virtaukset. Sen vuoksi niiden tunnusomaisena piirteenä onkin sekundäärinen likaantuminen, mikä johtuu liian suurista orgaanisen aineksen määristä ja lähinnä heikoista virtauksista johtuneista levien massaesiintymisistä. Tämän jälkeen tässä esitelmässä tarkastellaan viimeksi mainitun tyyppisiä tekojärviä, joissa likaavien aineiden leviäminen voidaan kuvata tapahtuvaksi seuraavan kaavion mukaisesti: aineiden pääsy vesistöön - siirtyminen (lähinnä tuulen aiheuttamien) virtausten mukana leviämisen alkuvaiheessa - organismien aiheuttama aineiden siirtyminen yhdisteiden hajoamisvaiheessa - aineiden akkumuloituminen.

Koska likaavien aineiden leviämistapoja on lukuisia leviämisen alkuvaiheessa, on likaantumisastetta ja likaantuvien alueiden sijaintia yleisen analogia- ja numeerisen laskentatekniikan tyyppimenetelmien ja laitteiden hyödyntämiseksi lähdeittävä selvittämään etsimällä tarkoitukseen soveltuvia hydrodynaamisia ja diffuusiomallityyppejä.

Liike- ja turbulenttisen diffuusion yhtälöt sisältävien tyyppimallien tulee perustua siihen, että aineen konnektio-diffuusionaalisien leviämisprosessin yleinen matemaattinen malli laaditaan skemaattiseen muotoon.

Teoreettisesti yllä mainittu tehtävä voidaan ratkaista luotettavimmin kolmedimensionaalisella mallilla, vaikka vesistön konkreettisista erityispiirteistä (virtausten luonne, pinta-ala ja syvyys, vallitseva sekoittumistyyppi jne) johtuen ratkaisu saattaa olla saavutettavissa kaksi- ja yksidimensionaalisillakin malleilla. Kun kolmedimensionaalista mallia muokataan yksinkertaisemmaksi, helpoin tapa on poistaa siitä vähemmän tärkeitä lähtöyhtälöitä niiden vaikutusarvon mukaan (1).

Tutkittavana olevan tekojärvityypin (suuri heikosti virtaava tekojärvi) erityispiirteet huomioonottaen, voidaan aineiden konnektio-diffuusiioleviämisen kaavio laatia selvittämällä vallitsevat sekoittumismuodot.

Suurilla tekojärvillä, joissa aineiden leviämisenopeus (lähinnä tuulien aiheuttamien virtausten vaikutuksesta) ja diffuusiionaalinen leviäminen ovat yhtä suuret, on likaantuvan alueen sijainnin ja likaantumisasteen määrittämiseen käytettävä kolmi-dimensionaalista yhtälöä.

$$\frac{\partial C}{\partial t} + v_x \frac{\partial C}{\partial x} + v_y \frac{\partial C}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} (D_x \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (D_y \frac{\partial C}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (D_z \frac{\partial C}{\partial z}) - K_1 C \quad (1)$$

Laskentamallia voidaan yksinkertaistaa sekä ottamalla huomioon syvyydet että teknisen syklin aika.

Koska matalissa tekojärvissä on vallitsevana vertikaalinen turbulenttinen sekoittuminen, voidaan tehtävä ratkaista kaksidimensionaalisella yhtälötyypillä.

$$\frac{\partial C}{\partial T} + v_x \frac{\partial C}{\partial x} + v_y \frac{\partial C}{\partial y} = D_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - K_1 C \quad (2)$$

tai kun otetaan huomioon pohjan pinnan muodon vaikutus aineiden leviämiseen mallilla

$$\frac{\partial C}{\partial T} + \left(v_{xp} - \frac{Dx}{H} \frac{\partial H}{\partial x} \right) \frac{\partial C}{\partial x} + \left(v_{yp} - \frac{Dy}{H} \frac{\partial H}{\partial y} \right) \frac{\partial C}{\partial y} = \quad (3).$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right)$$

Kaavoissa (1-3) C=aineen pitoisuus, v = virtausnopeus, D=turbulenttisen diffuusion kerroin, H=virtauksen syvyys, X, Y, Z, T=koordinaatit ja aika.

Kaksidimensionaalisia malleja (2-3) voidaan käyttää aineiden leviämisen laskemiseen myös syvissä tekojärvissä termisen kierron I ja III vaiheessa (jäähdyminen keväällä ja syksyllä), eli kun vallitsevana on vapaa konvektiosekoittuminen, jonka korkean intensiteetin vuoksi aineiden vertikaalijakautuminen on lähes homogeeninen näiden vaiheiden aikana.

Termisen kierron muiden vaiheiden aikana (II-lämpeneminen kesällä, IV-jäähdyminen ennen jään muodostumista, V-talviti-lanne jään alla) laskumallina on vallitsevaan turbulenttiseen sekoittumiseen (johon kuuluu dynaaminen ja tuulen sekä aaltojen aiheuttama sekoittuminen) liittyvä mallityyppi (1). Turbulenttisen sekoittumisen ollessa vallitsevana vesimassan pysyvän kerrostuneisuuden vaikutus estää aineiden pitoisuuden tasaantumisen syvyys suunnassa.

Tämän jälkeen laskentamalleja yksinkertaistetaan määrittämällä vesistölle analogiamalleja, jotka perustuvat vesistön hydrodynaamisen tilan analysointiin kuormituksen purkupaikoilla.

Analysoimalla vesistön hydrodynaamista tilannetta säätelevät tekijät (pinnankorkeudet, lämpötilat, tuulet, aaltoilu, virtaukset), voidaan valita analogiset hydrodynaamiset tilanteet, jota kutakin vastaa oma hydrodynaaminen ja diffusiomallinsa.

Puuttumatta erityisesti siihen, miten yllä mainitut hydrodynaamista tilannetta säätelevät tekijät vaikuttavat vesistön pinnankorkeuksiin ja diffuusiotilaan, toteamme tekojärvissä vallitsevat tyypilliset hydrodynaamiset tilanteet:

I Tyyni

Kun heikosti virtaavaan tekojärveen purkautuu likaavia aineita, ne leviävät virtausten puuttuessa (tyynellä) horisontaalisen diffuusion vaikutuksesta. Riippuen purkupaikan sijainnista rannan suhteen, voidaan erottaa kaksi tyypillistä diffusiomallia.

Kun purkupaikka sijaitsee kaukana rannasta, likaantuvan alueen sijainti määritetään yksidimenssionaalisella epästationäärisen diffuusion yhtälöllä (3).

$$\frac{\partial C}{\partial T} = \left(\frac{g}{\gamma} D - \frac{Q}{\gamma h} \right) \frac{1}{T} \frac{\partial C}{\partial T} + \frac{g}{\gamma} \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \quad (4)$$

Rannalla sijaitsevalle purkupaikalle käytetään tyyppimallina kaksidimensionaalista epästationäärisen diffuusion yhtälöä.

$$\frac{\partial C}{\partial T} + v_x \frac{\partial C}{\partial x} = D \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - K_1 C \quad (5)$$

II Rannanmyötäiset virtaukset tuulen suunnan ollessa vakio

Tuulen aiheuttamien virtausten vaikuttaessa säätelevät sekoittumisen luonnetta ja astetta näiden virtausten voimakkuus ja suunta. Vallitseva rannanmyötäinen virtaussuunta luo parhaat edellytykset likaantuvan alueen pinta-alan suurenemiselle. Tuulen aiheuttaman virtauksen nopeuden määrittämiseen voidaan käyttää pysyvästi vaikuttavan tuulen synnyttämän horisontaalisen sekoittumisen mallia (4). Silloin kun ranta on suora, likaantuneen alueen koko määritetään kaksidimensionaalisella stationäärisen diffuusion yhtälöllä

$$V_x \frac{\partial C}{\partial x} = D \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} - K_1 C \quad (6) \text{ tai}$$

kun rantaviiva on rikkonainen yhtälöllä

$$V_{x(x,y)} \frac{\partial C}{\partial x} + V_{y(x,y)} \frac{\partial C}{\partial y} = D_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + D_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - K_1 C \quad (6a)$$

III Erisuuntaisten tuulien aiheuttamat virtaukset

Hydrodynaamisen tilan tyypillisin erityispiirre on tässä tapauksessa tekojärven ranta-alueella muodostuva vuoksi luodekierto, jossa poikittaisvirtausprofiilin (v_y) alaosalle on luonteenomaista vastavirtauksen syntyminen. Nopeusprofiilin kääntymistä tehostavat kompensatiovirtaukset, joita syntyy, kun tuulen aiheuttamat virtaukset törmäävät vinosti tai kohtisuoraan rantaa vasten. Vuoksi-luodeilmiön seurauksena aineet voivat liikkua sekä tuulen suuntaisesti että vastakkaissuuntaan. Tavallisissa tuulitilanteissa ratkaisuun on käytettävä diffuusiomallia muotoa

$$v_x(x,y) \frac{\partial C}{\partial x} + v_y(x,y,z) \frac{\partial C}{\partial y} = D_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + D_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - K_1 C \quad (7).$$

Kullekin laskettavalle kohteelle (tekojärvelle) on konkreettisesta hydrodynaamisesta tilanteesta riippuen tarkennettava ja määriteltävä laskentakaavojen perustyytit, jotka koskevat likaantumisen suhteen epäedullisimpia olosuhteita. Määritettyjen tyyppimallien toteuttamisen tulee alkaa perusparametrien (virtausnopeuksia ja turbulenttista vaihtoa ja diffuusiota koskevat osatekijät) laskemisella. Samalla todettakoon, että saatavan tuloksen luotettavuus riippuu suuresti näiden parametrien oikeasta arvioinnista. Nopeusosatekijää annettaessa voidaan kokeiltujen laskentamenetelmien ("tuulikerroinmenetelmä", horisontaalisen sirkulaation malleilla laskeminen, "ideaalimenetelmä") v_x :n ja v_y :n arvot tarkistaa mittaustuloksilla tai (suunnitteluvaiheessa) analogia-vesistön tiedoilla. Turbulenttisen vaihdon ja diffuusion kertoimet voidaan saada laskemalla, jolloin turbulenttisen diffuusion kerroin saadaan tavallisesti turbulenttisen vaihdon kertoimen arvion perusteella. Horisontaalisen turbulenttisen diffuusion kerrointen arvoja voidaan pitää samoina kuin horisontaalisen turbulenttisen vaihdon kertoimia. Eräät tutkijat liittävät vertikaalisen turbulenttisen vaihdon kertoimet vertikaalisen turbulenttisen vaihdon kertoimiin molekulaaristen diffuusio- ja viskositeettikerrointen eli kriteerin P_z kautta, minkä mukaan $D_z = 0,7 A_z$. Todettakoon, että tällainen suhde ei aina säily ja että suurimmat poikkeamat liittyvät kerrostuneisuuden vaikutukseen.

Horisontaalisen turbulenttisen vaihdon kerrointen arvot voidaan laskea 4/3 -lain mukaan laajalla mittakaava-alueella. 4/3-laki ei ole voimassa mittakaavojen 1-10 cm alueella eikä mittakaavoilla 10^8 cm. Verrannollisuuslain muuttuminen ensimmäisessä tapauksessa liittyy ilmeisesti kerrostuneisuuden rajoittavaan vaikutukseen. Toisessa tapauksessa sekoittuminen lasketaan advektiivistä kulkeutumista koskevan lain mukaan.

Vertikaalisen turbulenttisen sekoittumisen kertoimet voidaan tarkimmin määrittää tärkeimpien vaikuttavien tekijöiden, eli dynaamisen sekoittumisen sekä aaltojen ja tuulen aiheuttaman sekoittumisen kertoimien summana (5).

Valituilla tyyppimalleilla saadaan laskennallinen kuva liikaavien aineiden leviämisestä pääasiallisella laimenemisalueella, jonka sisällä leviäminen tapahtuu vesistön ylemmässä pintakerroksessa. Lähtötietoina ovat aineiden pitoisuusarvot, joissa on huomioitu laimeneminen purkupaikalla. Pitoisuusarvoja laskettaessa tulee ottaa huomioon hydrauliset erityispiirteet purkupaikalla riippuen inertisten- ja nostovoimien keskinäisestä suhteesta.

Yllä esitettyjä malleja voidaan laskea erilaisilla ratkaisulaitteilla. Koska liikaavien aineiden leviämisen nusteita ratkottaessa ratkaisun tarkkuus lähtöarvoina käytettävien laskuparametrien tarkkuuden kertaluokasta johtuen on enintään 10 %, on laskelmissa varsin sopivaa ja tehokasta käyttää analogiatietokoneita.

Mallit (4 - 6) voidaan ratkaista riittävän tarkasti laskenta-alueelle, jolla on suhteellisen vähän pisteitä. Tällaisessa tapauksessa on mukavinta käyttää rakenneanalogiatietokonetta, jonka pääasiallisena käyttöalueena on ratkaista tehtäviä, jotka on kuvattu osittaisderivoituilla differentiaaliyhtälöillä (jatkuvalla aikafunktiolla).

Mallit lasketaan rakenneanalogiatietokoneilla seuraavan kaavion mukaisesti: lähtödifferentiaaliyhtälön siirtäminen tietokoneyhtälöksi (differentiaaliyhtälön esittäminen äärellisten osamäärien muodossa) - mittakaavojen johtaminen - vahvistinkertoimien laskeminen - tehtävän kokoaminen analogiatietokoneen kommutatiokenttään - ratkaiseminen. Kuvassa 1 on liikaavien aineiden leviämiskenttä purkupaikan sijaitessa 200 m rannasta, kun vallitsevan rannanmyötäisen tuulen nopeus on 0,3 m/s (jätevesimäärä $Q = 1,0 \text{ m}^3/\text{s}$, turbulenttinen diffuusiokerroin $100 \text{ m}^2/\text{s}$).

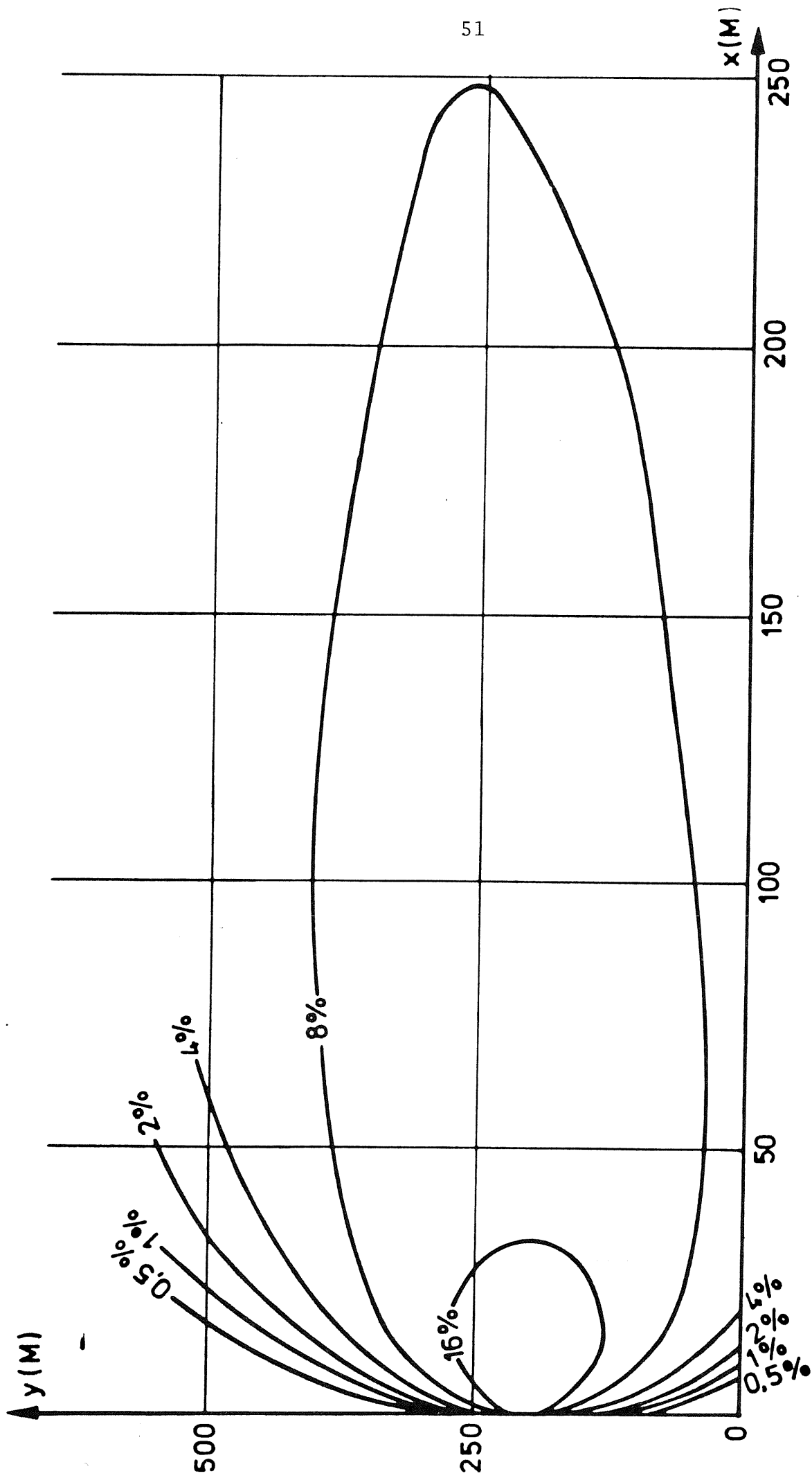
Runsasta pistejoukkoa vaativan mallin (7) ratkaisemiseen on mukavinta käyttää verkkoanalogiatietokonetta. Toteutuksen kaavio verkkoanalogiatietokonetta käytettäessä on seuraava: differentiaaliyhtälön esittäminen äärellisten osamäärien muodossa - mallitusehtojen saaminen vertaamalla lähtöyhtälönä käytettävää äärellisten osamäärien muodossa olevaa yhtälöä Kirchhoffin yhtälöön - laskuvastusten valitseminen ulkomallilla - ratkaiseminen.

Saatujen mallien avulla ja laskettujen tulosten avulla voidaan laatia ennuste likaavien aineiden leviämisestä toimivilta (sekä suunniteltavilta) purkupaikoilta, mikä puolestaan antaa mahdollisuuden laatia tarvittavat purettavia jätevesiä koskevat puhdistus-(ja jälkipuhdistus) suositukset jo tekojärvien suunnitteluvaiheessa.

KIRJALLISUUS

1. Ennusteen laatiminen suunniteltavien tekojärvien vaikutuksesta veden laadun kemiallisiin ilmentäjiin.
M., Informenergo, 1982.
2. Shishkin A.I., Jurovskaja T.N. Hydrologisten ja morfologisten olosuhteiden tyyppien määrittäminen laimenemismallien laatimista varten. Kokoomateoksessa: "Ympäristön suojelu teollisuusjätevesien aiheuttamalta likaantumiselta.
Julkaisu 2, L, 1975, s. 105 - 112.
3. Shishkin A.I. Aineiden konnektio-diffuusionaalista kulkeutumista koskevien matemaattisten mallien laatimisen perusteet. L., LTI ZBP, 1976.
4. Karanshev A.V. Jätevesien laimenemislaskelmat tekojärvissä ja meren lahdissa. Yleisliittolaisen pinta- ja pohjavesien tieteellis-teknisen konferenssin esitelmät ja tiedotukset Tallinna, 1967. s. 9 - 17.

5. Stockman U.B. Koottuja tutkimuksia meren fysiikasta.
L., Hydrometizdat, 1970.
6. Määräykset tekojärvien termisen tilan laskemisesta.
L., Energia, 1969.



Kuva 1. Suhteellisten pitoisuuksien (%) jakautuminen 200 m rannasta sijaitsevan purkupaikan läheisyydessä.

Ü. Mander
Eestin maataloustieteiden
Akademia
H. Liiv
Eesti Maaparandusprojekt

Maanparannus- ja vesi-
taloussymposio
Tbilisi 19.11.1986

PIENTEN TEKOKÄRVIEŒ VESITALOUDEN PARANTAMISEEN TARKOITETUT VESITEKNISET JA LUONNONSUOJELULLISET TOIMENPITEET

Viimeisten vuosien aikana on ihmisen toiminnan eri alojen vaikutusten ohella alettu kiinnittää suurta huomiota vesitaloudellisen rakentamisen ekologisiin näkökohtiin, kuten mm. jokien ja tekojärvien veden laatuun. Siihen liittyen toteutetaan monia erilaisia toimenpiteitä, kuten altaan pohjan hygieenistä erikoisvalmistelua, rakennusten ja kiinteistöjen siirtoa pois altaan paikalta, metsänpoistoa ja puhdistusta, jne. Näiden toimenpiteiden lisäksi on alettu kiinnittää yhä suurempaa huomiota piste- ja hajakuormituksen aiheuttamaan vesien likaantumiseen sekä sellaisiin vesiteknisiin toimenpiteisiin, joilla voidaan parantaa vesien laatua.

Yhdessä tapauksessa suositellaan rakennettavaksi läpivirtauksinen allas uomaan siten, että joen elementit säilyvät tekojärvessä tai siinä on jokiosuuksia (Pljush, V.A., 1984), jossakin toisessa tapauksessa sen sijaan kiinnitetään huomiota ensisijaisesti jätevesien puhdistukseen tai vesistön ilmastamismahdollisuuteen (Gaillard J., 1984, Maastik A., 1984).

Viljelyalueiden läheisyydessä sijaitsevat tekojärvet saattavat likaantua hajakuormituksen vaikutuksesta, koska maatalous käyttää tällä hetkellä runsaasti erilaisia pestisideja ja väkilannoitteita. Tällöin, kun otetaan huomioon keskimääräiset lannoitemäärät ja maaperän rakenne, yhdeltä peltohehtaarilta huuhtoutuu Eestissä keskimäärin 7 - 35 kg typpeä ja 0,1 - 1,2 kg fosforia vuodessa sekä B₀D₅-kuormitus on 10 - 45 kg (Mander, 1985). Ravinteiden, orgaanisen aineksen ja muiden maataloudesta peräisin olevien aineiden huuhtoutumisen eniten

käytettynä pienentämiskeinona on vesiensuojelualueiden ja metsävyöhykkeiden perustaminen pidättämään rehevöittäviä aineita ja pestisidejä tekojärvien ja tärkeimpien niihin laskevien jokien ympärillä (mm. notkoihin).

Kalojen suojelemiseksi on turvattava kalojen elinympäristö (kalansuojelutoimenpiteet, kutualueiden perustaminen, kalojen kulkuteiden rakentaminen jokeen), säilytettävä kalojen vaellusreitit (kalaportaat, veden pinnan korkeuden säännöstely, kalakanavat jne) sekä estettävä kalojen joutuminen vedenotto-laitteisiin (kalansuojelulaitteet).

Konoveren tekojärvi oli eräs kohteista, joilla suunnittelussa otettiin huomioon yllä mainitut luonnonsuojelulliset ja vesitekniset toimenpiteet. Tekojärvi on rakennettu Vigalajoen uomaan Kasarin vesistöalueella. Joen valuma-alueella harjoitetaan voimaperäistä maataloutta (34 % valuma-alueesta on maatalousaluetta), jonka seurauksena huomattava osa kuormituksesta joutuu jokeen ja edelleen Matsalun lahteen, vaikka kaikki pistekuormittajien jätevedet puhdistettaisiinkin. GPII "Estmelioprojekt" laitoksen tekemien laskelmien mukaan Matsalun lahteen kulkeutuu jokivesien mukana vuosittain 3971 T orgaanista ainesta (BOD_5 :n mukaan laskettuna); 2245 T typpeä ja 82 T fosforia, joista suurin osa on peräisin maataloudesta. Tilanteen parantamiseksi on alueelle asutuskeskusten ja maatilojen jätevesien puhdistamisen lisäksi perustettava vesilähteiden ja jokien ympärille vesiensuojelualueita ja vyöhykkeitä. Kiintoaineksen, jota silti pääsee jokiin, laskeuttamista varten suunnitellaan rakennettavaksi kolme tekojärveä, joista ensimmäisenä on rakennettava muita kokonaisvaltaisemmin käytettävä Konoveren allas.

Konoveren altaan tekniset tiedot ovat seuraavat:

- vuotuinen mitoitussylivirtaama 1 % pysyvyydellä	186,0 m ³ /s
- pinta-ala	59 ha
- kokonaistilavuus	1,66 milj.m ³
- keskisyvyys	2,81 m
- säännöstelylaitteen tyyppi: vedenpinnan korkeuden säännöstely kansiluukuilla	
- metsäsuojavyöhyke	2,7 km
- jo olevien metsäsuojavyöhykkeiden säilyttäminen tai uudelleen istutus	4,4 km
- järviruoko- ja kaislakasvusto tekojärven yläosassa	1,8 ha
- tekojärven kokonaiskustannukset	989 000 ruplaa
- veden hinta tekojärvessä	60 kop/m ³

Koska Vigala-jokeen tulee lähinnä hajakuormitusta (70 - 80 % koko kuormituksesta), on hajakuormituksen pienentäminen tärkein tavoite.

Ehdotetut ekologiset toimenpiteet on esitelty kuvassa 1:

1. Uusien (2,7 km) metsäsuojavyöhykkeiden perustaminen ja jo olevien (4,4 km) metsäsuojavyöhykkeiden säilyttäminen ja uudelleen istuttaminen. Istutettavat puulajit ovat: terva- ja harmaaleppä, koivu, paju ja kuusi.
2. Tilan ja tekojärven väliin suunnitellaan perustettavaksi 0,9 hehtaarin pajusuoja-alue.
3. Kiintoaineksen keräämistä varten tekojärven yläosaan perustetaan selkeytysallas, eli 1,8 hehtaarin järviruokokaislalamikkko.

Veden pitämiseksi puhtaana tekojärvässä, on kaikkien piste-kuormittajien päästöt hoidettava, eli on järjestettävä uudelleen jätevesien puhdistus ja tarkistettava lannoitteiden, painorehun ja lannan varastointi. 500 metrin etäisyydellä tekojärvestä on lannan kuljetus lumelle talviaikana ja lannoitteiden ja kemikaalien lentolevitys kielletty. Samoin on kielletty perustamasta uusia kuormituslähteitä.

Suunnitellut vesiensuojeluvyöhykkeet ja -alueet toimivat lähinnä pintavesien puhdistajina ja lisäävät myös esteettistä vaihteluvuutta.

Kenttäkokeissa on selvitetty, että Vagala-joen valuma-alueella huuhtoutuu vuodessa peltohehtaarilta 23,8 kg epäorgaanista ainesta (BOD_5 :n mukaan laskettuna).

Suunnitelluilla suoja-alueilla ja -vyöhykkeillä on seuraava puhdistusteho (pinta- ja pohjavesistä) hehtaaria kohti vuodessa:

- 2,4 kg epäorgaanista typpeä, eli 10 %
- 0,10 kg fosfaattifosforia, eli 21 %
- 5,8 kg orgaanista ainesta (BOD_5 :n mukaan laskettuna) eli 19 %.

Maiseman ekologisen vaihtelevuuden kuvaamiseksi on ehdotettu vaihtelevuusindeksiä, joka osoittaa ekotonien pituutta, eli reunaeffektiä metreinä hehtaaria kohti kyseisellä alueella. Mitä pitempi ekotoni on, sitä vaihtelevampi on maisema. Kyseisessä tapauksessa vaihtelevuusindeksi kasvaa arvosta 81,6 m/ha arvoon 94,1 m/ha eli 15,3 %.

Vesiensuojeluvyöhykkeistä ja -alueista huolimatta osa haja-kuormituksesta kulkeutuu jokien, kanavien ja selkeytysaltaan kautta itse tekojärveen.

Selkeytysallas pidättää vuodessa keskimäärin

- 1,8 % epäorgaanisen typen kokonaismäärästä
- 7,2 % fosfaattifosforin "
- 10,8 % orgaanisen aineksen (BOD₅) "

Tällöin tekojärven kokonaispuhdistusvaikutus on

- 12 % epäorgaanista typpeä
- 27 % fosfaattifosforia
- 30 % orgaanista ainesta (BOD₅)

Kaislalammikon puhdistuskyvyn turvaamiseksi järviruoko ja kaisla on niitettävä kerran vuodessa ja ne on poistettava lammikosta. Niittoon on käytettävä uivia niittokoneita. Poistettua järviruokoa ja kaislaa voidaan käyttää eläinten painorehun valmistukseen. Lammikon pohja on puhdistettava 3 - 5 vuoden välein, minkä jälkeen järviruoko- ja kaislakasvustojen annetaan kasvaa uudelleen.

Tässä suunnitelmassa vesiensuojelutoimenpiteillä oli oma pääkohtansa, jonka kustannukset (kokonaistyoimäärästä) olivat 17 000 ruplaa, mikä vastaa 7,1 % tekojärven maansiirto- ja kulttuuriteknisistä töistä.

Oikea-aikaisten käyttö- ja kunnossapitotöiden turvaamiseksi on padossa käytettävä nopeatoimisia sulkulaitteita. Veden hapettumisen ja kalojen kulun kannalta katsoen on tarkoituksenmukaisinta käyttää läppäsulkuja.

Erilaisten sulkulaitteiden (venttiilisulut, pehmeärakenteiset sulut, sektorisulut) teknistaloudellisen vertailun perusteella päädyttiin läppäsulkujen käyttöön. Aukon kokonaisleveys on 2,0 m ja painekorkeus 3,0 m (kuva 2). Läppäluukujen rakenne on tutkittu perusteellisesti, ja ne on todettu käytännöllisiksi erityisesti tasaisten alueiden jokipadoissa (Beljashevskij N.N., 1977).

Allas voidaan tyhjentää kokonaan oikealla puolen olevan pohjaaukon kautta.

Kun allasta käytetään kasteluun, on vedenottamon pumppuusemaan suunniteltu rakennettavaksi kalansuojalaite (Odinets Ju. S., Ishutinov E. M., 1984).

GPII "Estmelioprojekt" -laitoksessa jatketaan työtä, joka liittyy jokien ja tekojärvien veden laadun parantamiseen. Loppuun saatettujen Matsalun vesistöalueen ja Peipsi järven suunnitelmien lisäksi valmiina ovat myös Ylemistö-järven (Tallinna) valuma-alueen hygienisten suojavyöhykkeiden suunnitelmat sekä Eestin SNT:n pohjoisosien pienten jokien yleissuunnitelmat. Teoreettisina kehittelytöinä on vesiensuojeluvyöhykkeiden väliaikaisten suunnitteluohjeiden lisäksi laadittu "Apukirja rantavyöhykkeiden suunnittelemiseksi vesistöille".

Tällä hetkellä jatketaan työtä, joka liittyy vesiensuojelualueiden ja vyöhykkeiden yleissuunnitteluun Eestin SNT:n vesistöille. Yleissuunnitelmassa tulee kokonaisvaltaisesti ratkaista lukuisia vaikeita vesien laadun parantamiseen tähtääviä kansantaloudellisia ja ekologisia ongelmia.

Kirjallisuus:

1. Gaillard I. Multilevel withdrawal and water quality. - Journal of Environmental Engineering, 1984, 110, p. 123-130.
2. Beljashevskij N.N. Läppäluukuilla varustettujen uomaan rakennettujen patojen hydrauliset laskelmat. Kiev, 1977.
3. Maastik A. Maatalouden vesiensuojelu. Tallinna, 1984 (Eestinkielinen).
4. Mander Ju. Vesiensuojelualueiden ja vyöhykkeiden puhdistusteho. Maanviljelymaiseman ekologia ja ekonomia. Esi-
telmäjulkaisu, Tallinna, 1985, s. 114-118.

7. Odinets Ju S., Ishutinov E.M. Pyramidaalisen kalanestolaitteen mallitutkimukset. Kokoomateoksessa: Luonnonsuojelu maanparannus- ja vesitaloudellisia järjestelmiä suunniteltaessa. V/O "Sojuzvodproekt", M., 1984, s. 49-55.
6. Pljush V.A. Eräitä näkökohtia tekojärvien veden laadun parantamiseksi. Kokoomateoksessa: Luonnonsuojelu maanparannus- ja vesitaloudellisia järjestelmiä suunniteltaessa. V/O "Sojuzvodproekt", M., 1984, s. 40-48.

Kari Kinnunen
Lapin vesi- ja ympäristöpiiri

Maanparannus- ja vesi-
taloussymposio
Tbilis 19.11.1986

LAPIN TEKOAALTAIDEN VEDEN LAADUN KEHITTYMINEN JA VAIKUTUS ALAPUOLISTEN VESIEN AINEVIRTAAMIIN JA VEDEN LAATUUN

Kemijokeen laskevien Liirojoen ja Kitisenjoen latvoille rakennetut tekoaltaat, Lokka ja Porttipahta, ovat Suomen suurimmat ihmisen rakentamat tekoaltaat. Euroopankin mittakaavassa ne ovat varsin kookkaita, ollen Länsi-Euroopan suurimmat tekoaltaat.

Ne rakennettiin 1960-1970 lukujen vaihteessa vesivoiman varastoaltaiksi syöttämään vettä talven alivirtaamakausina Kemijoen sijaitseville voimalaitoksille. Ne suunniteltiin erääksi tärkeäksi osaksi koko Kemijoen säännöstelysysteemiä (kuva 1), johon kuuluivat Kemijoen ja Kitisen voimalat sekä vielä kolmas tekoallas, Vuotos. Viimeksi mainitun rakentamisesta tosin on luovuttu vuonna 1982 tehdyn valtioneuvoston päätöksen perusteella.

Kitisenjoen voimaloiden rakentamiseen liittyen Lokka ja Porttipahta liitettiin alkuperäisen suunnitelman mukaisesti toisiinsa kanavalla vuonna 1981, jonka jälkeen käytännöllisesti katsoen kaikki tekoaltaista juoksu-
tettava vesi johdetaan Porttipahdan padossa olevan voimalan kautta Kitisenjokeen ja sen jälkeen Kemijokeen.

Lokan tekoaltaan alle jääneistä maista oli suoperäistä n. 80 % ja Porttipahdan alle jääneistä maista n. 50 %. Altaita säännöstellään ylivuotissella säännöstelytaktiikalla eli toisin sanoen tekoaltaita säännöstellään luparajojen puitteissa vain niin paljon vuosittain kuin kulloinenkin säätöenergian tarve vaatii.

Tekoaltaat täytetään pääsääntöisesti kevät- ja syystulvan aikana ja säännöstellään alaspäin talven alivirtaamien aikana jolloin altaissa on jo jääpeite. Edellä esitetty tekoaltaiden säännöstelytaktiikka sekä osittain altaiden alle jääneiden maiden luonne ovat tärkeimmät altaiden ve-

den laatuun vaikuttavat seikat. Taulukossa 1 on esitetty eräitä Lokan ja Porttipahdan tekoaltaiden dimensioita .

Käytännössä molempien tekoaltaiden säännöstely on ollut lupaehtoihin verrattuna verraten lievää. Niitä ei koskaan ole säännöstelty ylärajaltaan alarajalle. Voimakkaimman säännöstelyn piirissä tekoaltaat ovat olleet vuosina 1974 ja 1977 jolloin ne säännösteltiin lähes alarajalleen (kurva 2). Tämä säännöstelyn rajuus näkyy selvästi myös tekoaltaiden veden laadun kehityksessä.

2. VEDEN LAADUN KEHITTYMINEN LOKAN JA PORTTIPAHDAN TEKOAALTAISSA

Molempien tekoaltaiden tilan kehittymistä on seurattu niiden rakentamisesta lähtien verraten intensiivisesti ottaen näytteitä jatkuvasti kaikkina vuodenaikoina. Tilan seurannassa on keskitytty pääasiassa fysikaalis - kemiallisten vedenlaatuomuttujen analysointiin mutta myös biologista seurantaa on tehty .

Arvioitaessa tekoaltaiden tilan kehittymistä fysikaalis - kemiallisten vedenlaatuomuttujen avulla ovat syystäyskiertojen aikana otetut näytteet osoittautuneet erityisen käyttökelpoisiksi koska silloin tekoaltaiden alueelliset ja vertikaaliset erot ovat tasoittuneet ja altaiden vedestä on mahdollista kerätä alueellisesti edustavat näytteet.

Myös loppupalven aikaisen happipitoisuuden vuosittainen analysointi antaa varsin informatiivisen kuvan tekoaltaiden tilan pitkän ajan kehityksestä.

2.1 Lokan tekoallas

Lokan tekoaltaan talviaikainen happipitoisuus on vaihdellut ja yhä edelleenkin vaihtelee alueellisesti hyvin paljon. Alkuaikoina altaan matalat osat muodostuivat loppupalvella säännöllisesti hapettomiksi. Täydellistä hapettomuutta altaaseen ei koskaan ole muodostunut, koska altaaseen virtaavien jokien vaikutusalueella on jäänalaisessa pintakerroksessa aina ollut happea.

Talvina 1974 ja 1977, jolloin Lokkaa säännösteltiin voimakkaasti, oli sen happitilannekin hyvin huono (kurva 3). Tällöin aiheutui mittavia kalakuolemia sekä särkien ja haukien massainvaasio Lokan altaan yläpuolisiin tunturijokiin. Viimeksimainittu ilmiö tuhosi em. jokien arvokalakannat lähes täydellisesti.

Lokan altaan happitilanne tulee hitaasti paranemaan tai ainakin säilymään nykyisellä tasollaan jos säännöstelytaktiikka säilyy samana. Jos

altaan vesivarasto säännöstellään samalla tavalla lähelle alarajaa kuin vuosina 1974 ja 1977, tulee altaan happitilanne jälleen muodostumaan kriittiseksi, jolloin tulee esiintymään myös kalakuolemia.

Lokan niinkuin muidenkin Suomalaisten tekoaltaiden vedenlaatuongelmat näkyvät nimenomaan orgaanisen aineen vaikutusta kuvaavissa vedenlaatu-muuttujissa kuten pH:ssa, kemiallisessa hapenkulutuksessa ja veden vä-rissä.

Yleistäen voidaan sanoa, että Lokan tekoaltaan täyttövaiheessa (1 - 3 a) veden laatu oli verraten hyvä. Heti säännöstelyn alettua veden laatu huononi dramaattisesti. Sen jälkeen se on parantunut vuosien myötä ja Lokan allas on saavuttanut tietynlaisen tasapainotilan jossa veden laatu tulee säilymään kauan aikaa lähes nykyisellään. Tämä sillä edellytyksel-lä, että altaan säännöstelyä ei merkittävästi tehosteta tai säännöste-lyä ei siirretä tapahtuvaksi lähellä altaan alarajaa. Jos näin tehdään, altaalla tulee jälleen esiintymään happikatoja ja orgaanista ainetta kuvaavien muuttujien pitoisuudet tulevat jälleen kohoamaan korkeiksi. Kuvissa 4 ja 5 on esitetty Lokan tekoaltaan veden värin ja pH:n kehitty-minen syystäyskierron aikana.

Samanlainen veden laadun tasaantuminen on havaittavissa myös altaan ravinnepitoisuuksissa.

2.2 Porttipahdan tekoallas

Porttipahdan tekoaltaalla ei ole tapahtunut samanlaisia happikatoja kuin Lokassa (kuva 6). Tämä johtuu siitä, että Porttipahdan tekoallas on oleel-lisesti syvempi kuin Lokka ja sen valuma-alueen suhde altaan tilavuuteen on suurempi kuin Lokan altaalla. Myös altaan alle jääneiden maiden eri-laisuus (taulukko 1) vaikuttaa Porttipahdan eduksi.

Myös Porttipahdan tekoaltaalla on havaittavissa samanlainen kehitys veden laadussa (kuvat 7 ja 8) kuin Lokassa. Säännöstelyn aloituksen aikainen huono tilanne on parantunut ja allas on saavuttanut tasapainotilan, jos-sa se tulee säilymään samoilla edellytyksillä kuin Lokankin tekoallas. Lokan ja Porttipahdan kanavan rakentamisen jälkeen Lokan vedet vaikutta-vat myös Porttipahdan tekoaltaan eteläisen osan veden laatuun sekä tie-tenkin myös Porttipahdan alapuolisen Kitisenjoen veden laatuun.

3. TEKOAALTAIDEN VEDEN LAADUN SUHTEESTA ALTAIDEN SÄÄNNÖSTELYYN

Mistä tekoaltaiden veden laadun huonontuminen säännöstelyn aloituksen jälkeisinä vuosina sekä myöhempi parantuminen sitten johtuu? Perinteinen tekoallasteoria väittää, että suoperäisille maille rakennettujen tekoaltaiden veden laatuvaikkeudet johtuvat siitä, että "tekoaltaiden alle jäänyt, helposti hajoava orgaaninen maakerros kuluttaa altaan happivarastot loppuun". Tällä helposti hajoavalla orgaanisella maakerroksella tarkoitetaan suota ja turvetta.

Edellä esitetty teoria ei kuitenkaan voi sellaisenaan pitää paikkaansa. Turve ja suoperäinen maa eivät missään tapauksessa ole helposti hajoavaa ainetta. Lapin tekoaltailla tehtyjen sedimenttitutkimusten perusteella on voitu todeta, että altaiden pohjalle jääneen turpeen pintakerros on lähes altaiden rakentamista edeltäneessä tilassa.

Vedenlaatuvaikkeudet ja altaiden myöhempi toipuminen johtuvat aivan ilmeisesti pikemminkin säännöstelystä kuin suoranaisesti maaperästä. Koska altaat säännöstellään alaspäin aina silloin kun niissä on jääpeite, se erosi tehokkaasti orgaanista maaperää. Jyrkillä säännöstelyvyöhykkeen alueilla jääpeite saattaa erosioida orgaanisen maaperän muutamassa vuodessa. Erosioidessaan jääpeite "möyhentää" orgaanista maata hyvin pieniksi partikkeleiksi joiden suhteellinen pinta-ala kasvaa silloin valtavasti. Tämä erosiointunut, pienipartikkelinen orgaaninen massa on helposti hajoavaa, koska heterotrofinen hajotus on sitä tehokkaampaa mitä pienempiä hajotettavat partikkelit ovat.

Loivilla säännöstelyvyöhykkeen osilla altaan pohjalle laskeutuva jääpeite myös erosioli sitä laajetessaan ja supistuessaan lämpötilan vaihdellessa.

Toinen vaikuttava mekanismi aiheutuu jään painosta. Laskeutuessaan sulan pohjan päälle, joka on kyllästynyt vedellä, se painaa maata kaasaan. Tällöin maasta puristuu vettä ja siihen liuenneita aineita altaaseen. Puristuvassa vedessä on pieniä orgaanisia partikkeleita ja kolloidista sekä liennutta orgaanista ainetta. Edellä mainittu orgaaninen aines sisältää altaiden ensimmäisinä vuosina runsaasti helposti hajoavia osia, mistä johtuu voimakas hapenkuluma ja orgaanisen aineen liukeneminen altaan veteen. Viimeksi kuvattua mekanismia voidaan nimittää "pumppuvaikutukseksi".

Altaiden vanhetessa erosioituva orgaaninen maa vähenee säännöstelyvyöhykkeellä. Samoin maasta pumppautuva orgaaninen aines vähentyy. Tästä johtuu tekoaltaiden veden parantuminen ja ns. tasapainotila, joka Lapin tekoaltailla on saavutettu n. 13-15 vuoden aikana.

4. LAPIN TEKOAALTAIDEN VAIKUTUKSESTA NIIDEN ALAPUOLISTEN JOKIEN VEDEN LAATUUN

Koska Lapin alueen tekoaltaat täytetään pääosin kevättulvasta, ei niiden alapuolisissa joissa ole enää luontaista ja rajua, puhdistavaa kevättulvaa. Tästä johtuen jokien uomat ovat paikoitellen liettyneet pahasti. Näin on käynyt erityisesti Lokan altaan alapuolella olevalla Luirojoella varsinkin sen sälkeen kun Lokan ja Porttipahdan yhdistävä kanava rakennettiin ja lähes kaikki altaiden vedet alettiin juoksuttaa Porttipahdan voimalan kautta.

Kesällä altaista ei juoksuteta vettä lainkaan tai juoksutus on erittäin vähäistä. Tämä on madaltanut kesän alivirtaamia entisestään. Talvella luontaisten alivirtaamien aikaan sen sijaan juoksutetaan vettä erittäin voimakkaasti.

Koska tekoaltaiden alapuolisten Luirojoen ja Kitisenjoen vesi muodostuu pääosin tekoaltaiden vedestä, jokien veden laadun kehitys on noudattanut varsin tarkasti niiden yläpuolisten tekoaltaiden veden laadun kehitystä. Yksinkertaistaen voidaan sanoa, että suurin muutos jokien luonnotilaiseen veden laatuun nähden on tapahtunut talviaikana, jolloin veden laadun huononeminen on ollut erittäin merkittävää varsinkin tekoaltaiden käytön alkuvuosina.

Tekoaltaiden juoksutuksista johtuvia happikatoja ei ole havaittu niiden alapuolisissa joissa.

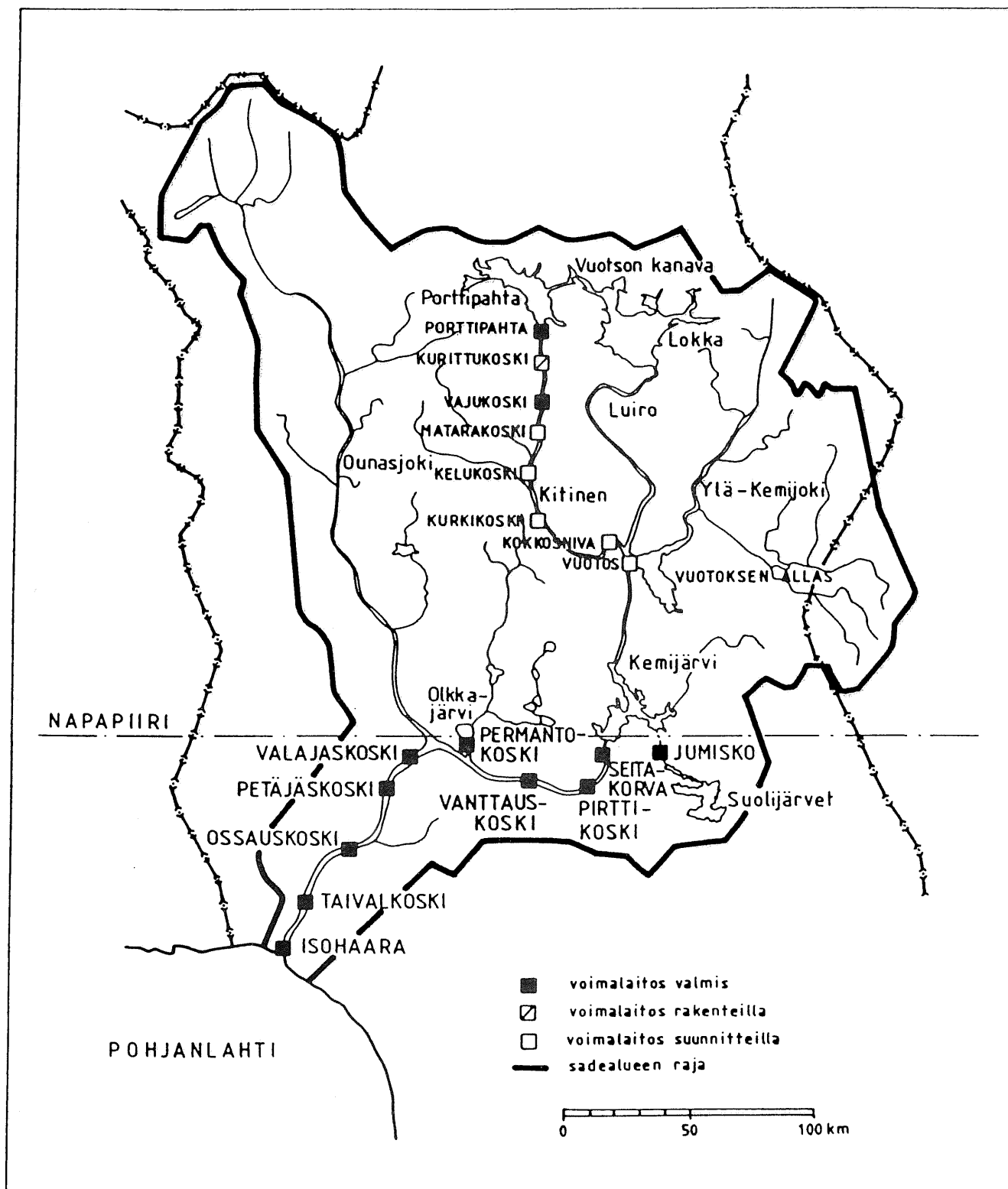
Tekoaltailla ei ole ollut merkittävää vaikutusta niiden alapuolisten jokien kokonaisainevirtaamiin. Sen sijaan ainevirtaamien vuodenaikaiseen jakaumaan niillä on ollut merkittävä vaikutus. Nykyään huomattava osa aineiden virtaamasta tapahtuu talvella eikä tulva-aikana kuten tapahtui jokisysteemin ollessa luonnontilassa.

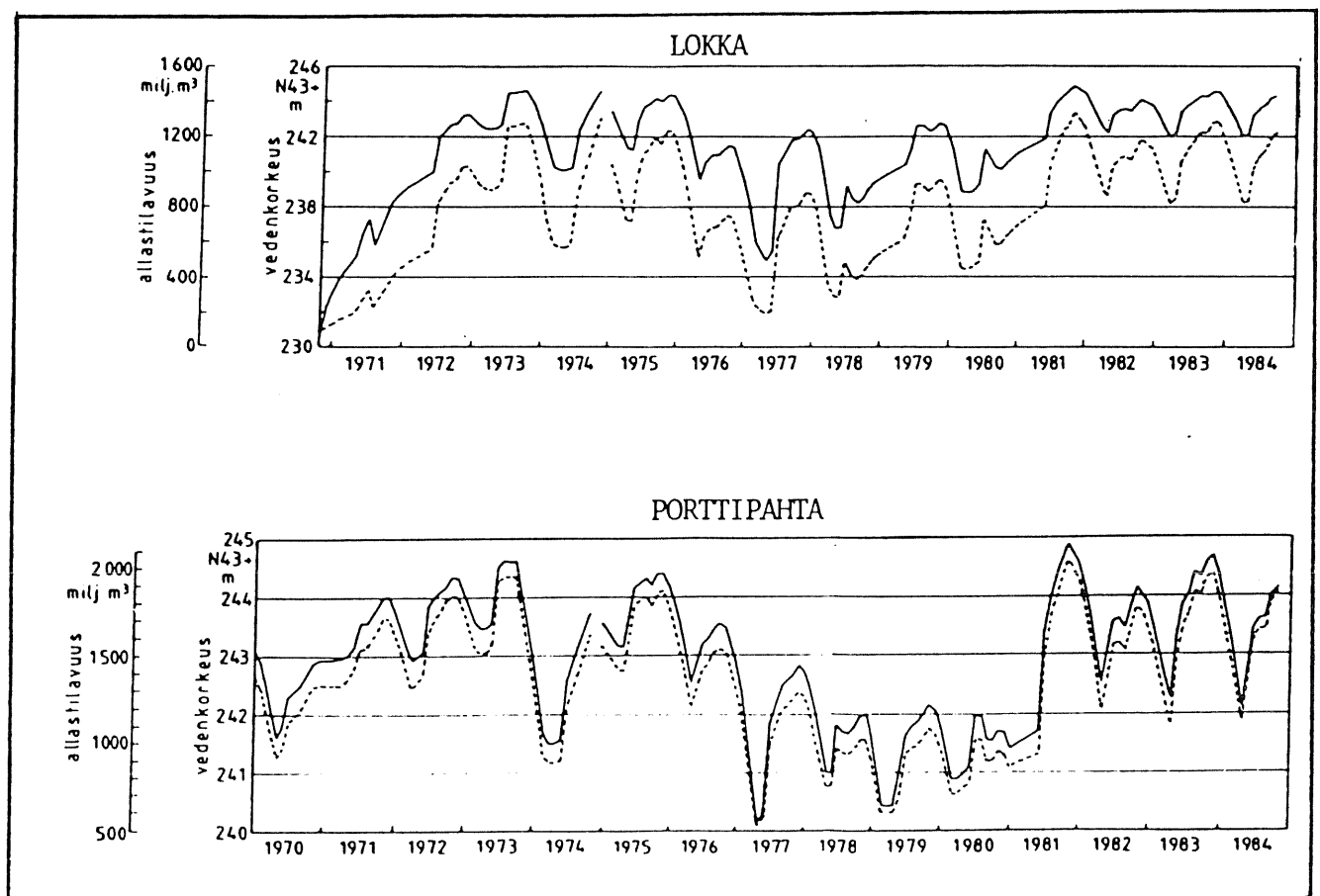
Taulukko 1. Lokan ja Porttipahdan tekoaltaita kuvaavia tietoja.

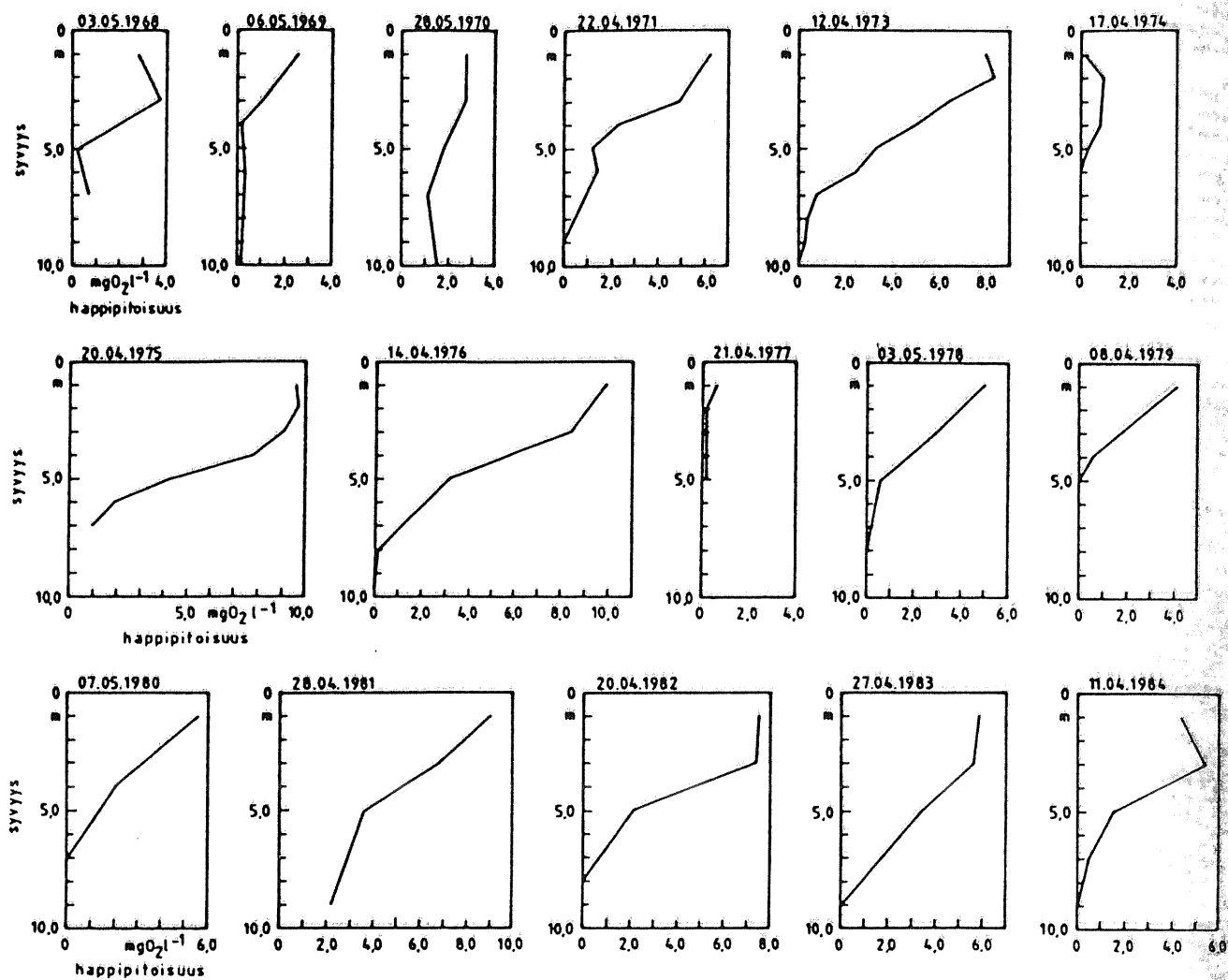
	LOKKA	PORTTIPAHTA
Säännöstelyn yläraja (N_{43})	+245.00	+245.00
Säännöstelyn alaraja (N_{43})	+240,00	+234,00
Pinta-ala ylärajalla (km^2)	417	214
Pinta-ala alarajalla (km^2)	216	34
Tilavuus ylärajalla ($10^6 m^3$)	2063	1353
Tilavuus alarajalla ($10^6 m^3$)	500	150
Valuma-alue padolla (km^2)	2380	2460
Suoperäistä maata (%)	n.80	n.50
Täyttö aloitettu	11.7.-67	17.9.-70

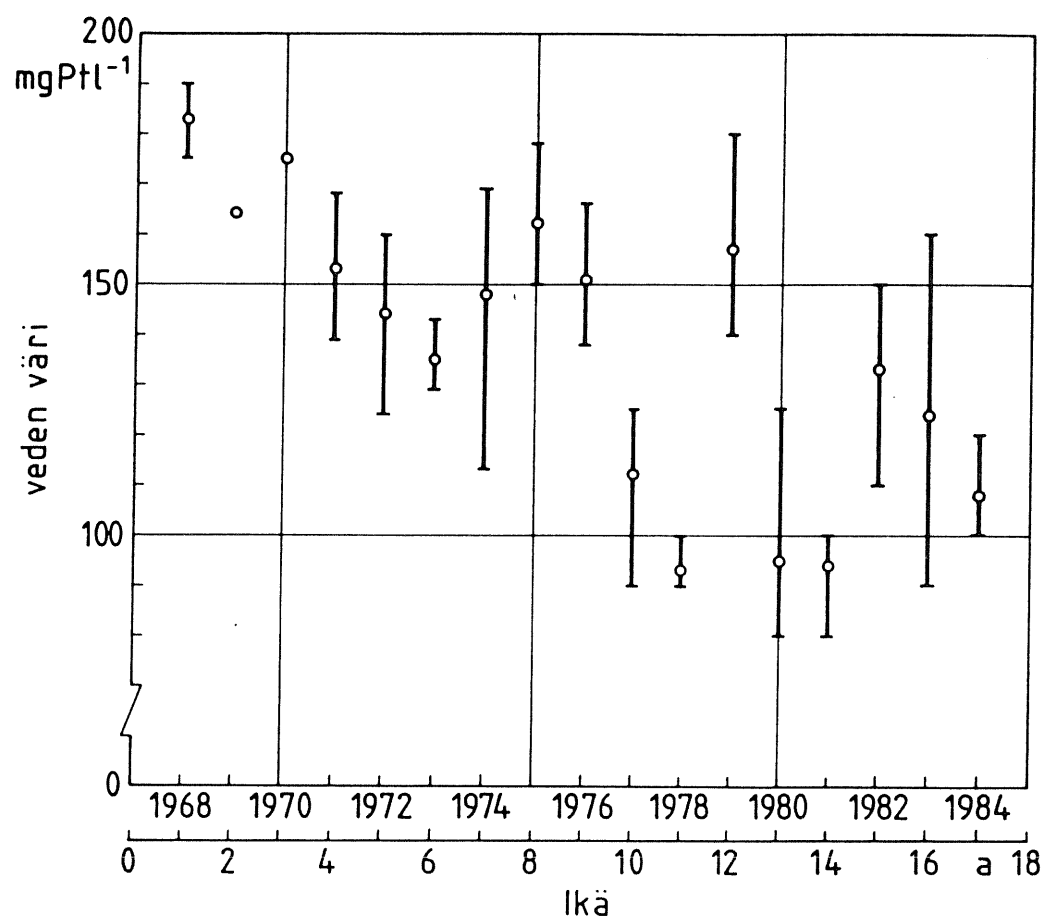
KUVATEKSTIT

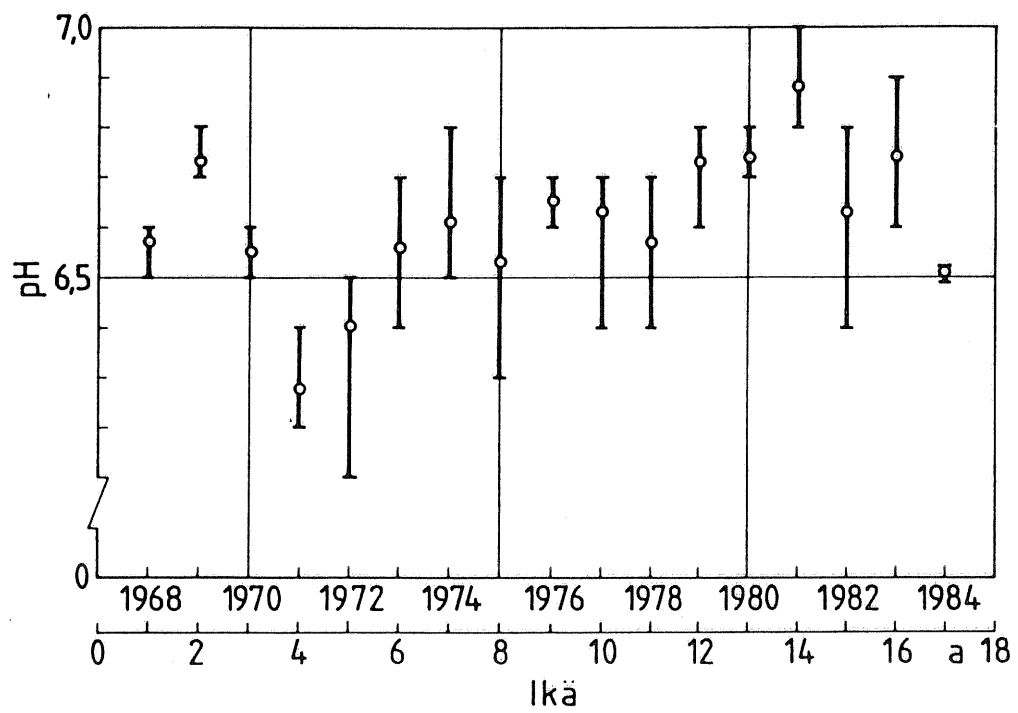
- Kuva 1. Kemijoen suunniteltu säännöstelysystemi. Kuvaan piirretyn Vuotoksen tekoaltaan rakentamisesta on luovuttu.
- Kuva 2. Lokan ja Porttipahdan tekoaltaiden kuukausittaiset veden pinnan-
korkeudet (—) ja tilavuudet (---) vuoden 1984 loppuun saakka.
- Kuva 3. Lokan tekoaltaan syvänpisteen (padon lähellä) huhti-toukokuun
vaihteen happipitoisuudet vuosina 1971-1984.
- Kuva 4. Lokan tekoaltaan väriarvojen kehittyminen altaan runko-osassa
syystäyskierron aikana vuoden 1983 loppuun saakka. o = eri näy-
tepisteiden havaintojen keskiarvo. Janojen päät ilmaisevat ha-
vaintojen ääriarvoja.
- Kuva 5. Lokan tekoaltaan pH-arvojen kehittyminen altaan runko-osassa
syystäyskierron aikana vuoden 1983 loppuun saakka. o = eri näy-
tepisteiden havaintojen keskiarvo. Janojen päät ilmaisevat ha-
vaintojen ääriarvoja.
- Kuva 6. Porttipahdan tekoaltaan syvänpisteen (padon lähellä) huhti-tou-
kokuun vaihteen happipitoisuudet vuosina 1971-1984.
- Kuva 7. Porttipahdan tekoaltaan väriarvojen kehittyminen altaan runko-
osassa syystäyskierron aikana vuoden 1983 loppuun saakka.
o = eri näytepisteiden havaintojen keskiarvo. Janojen päät il-
maisevat havaintojen ääriarvoja.
- Kuva 8. Porttipahdan tekoaltaan pH-arvojen kehittyminen altaan runko-
osassa syystäyskierron aikana vuoden 1983 loppuun saakka.
o = eri näytepisteiden havaintojen keskiarvo. Janojen päät ilmai-
sevat havaintojen ääriarvoja.

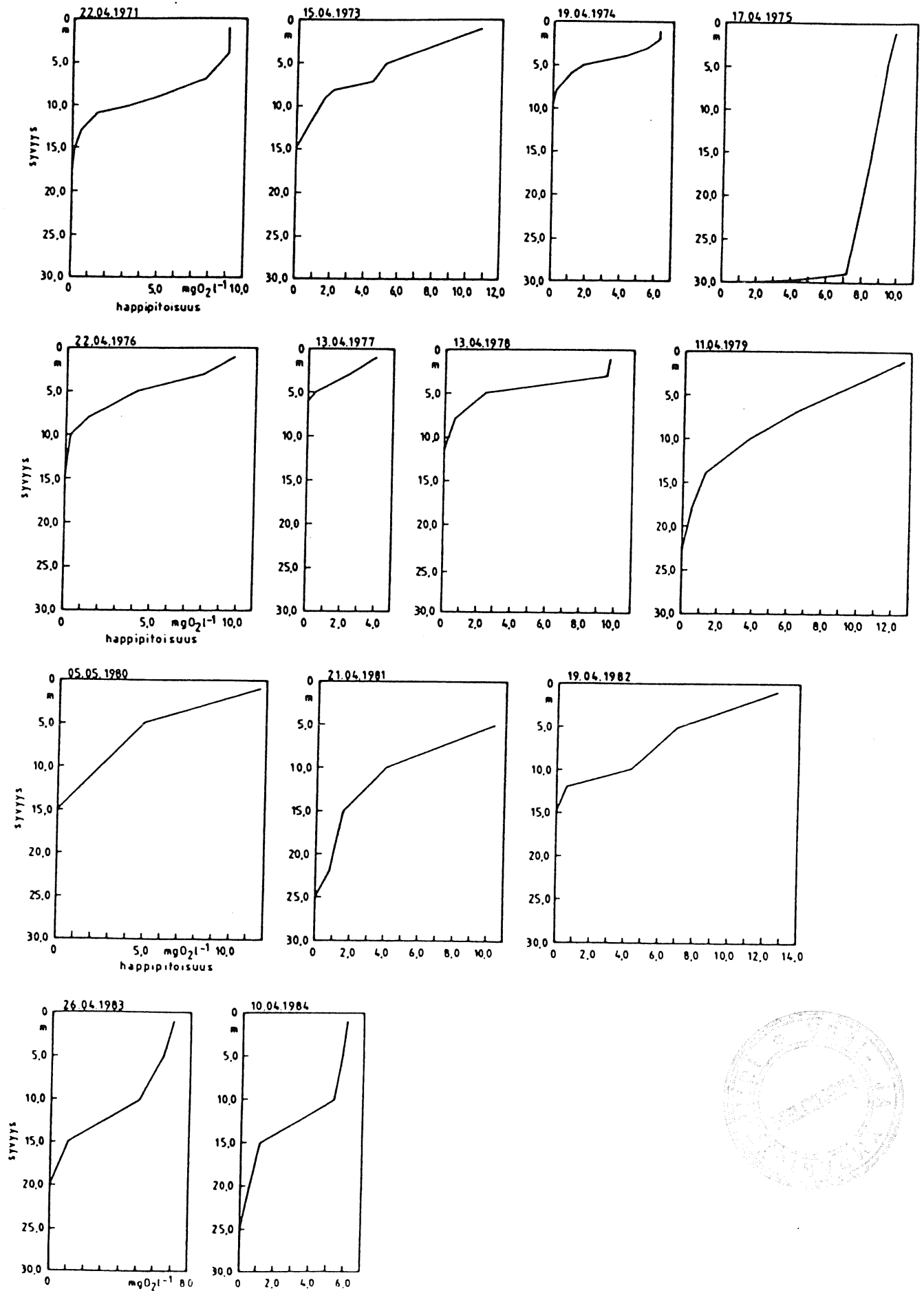


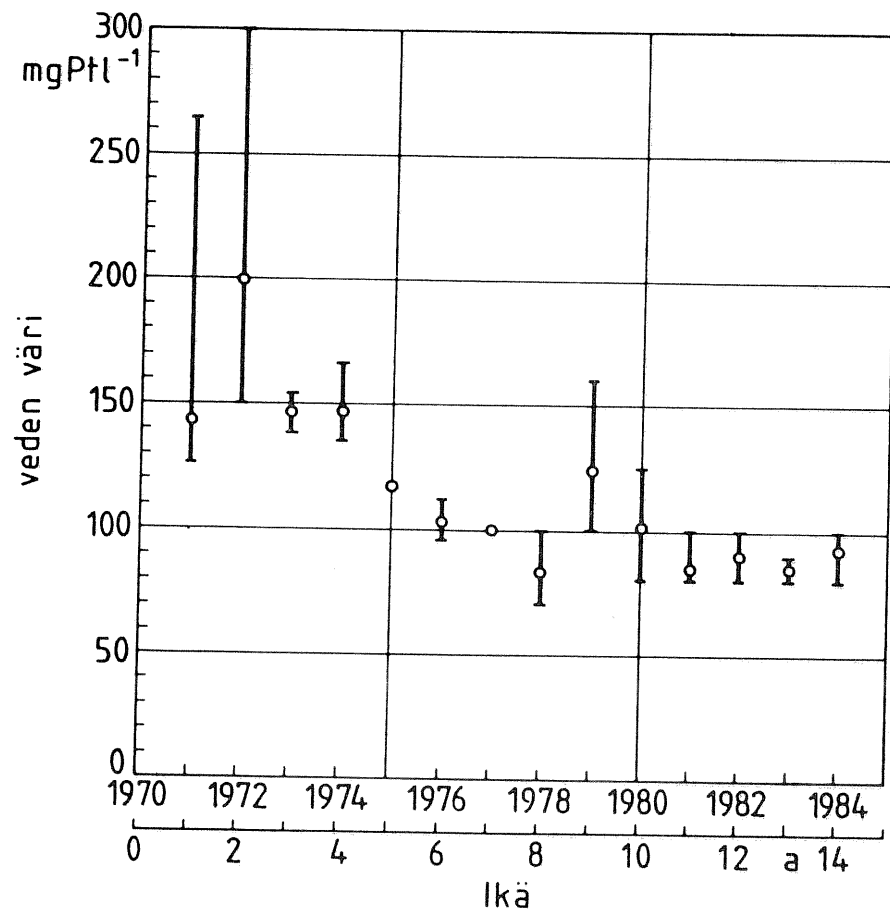


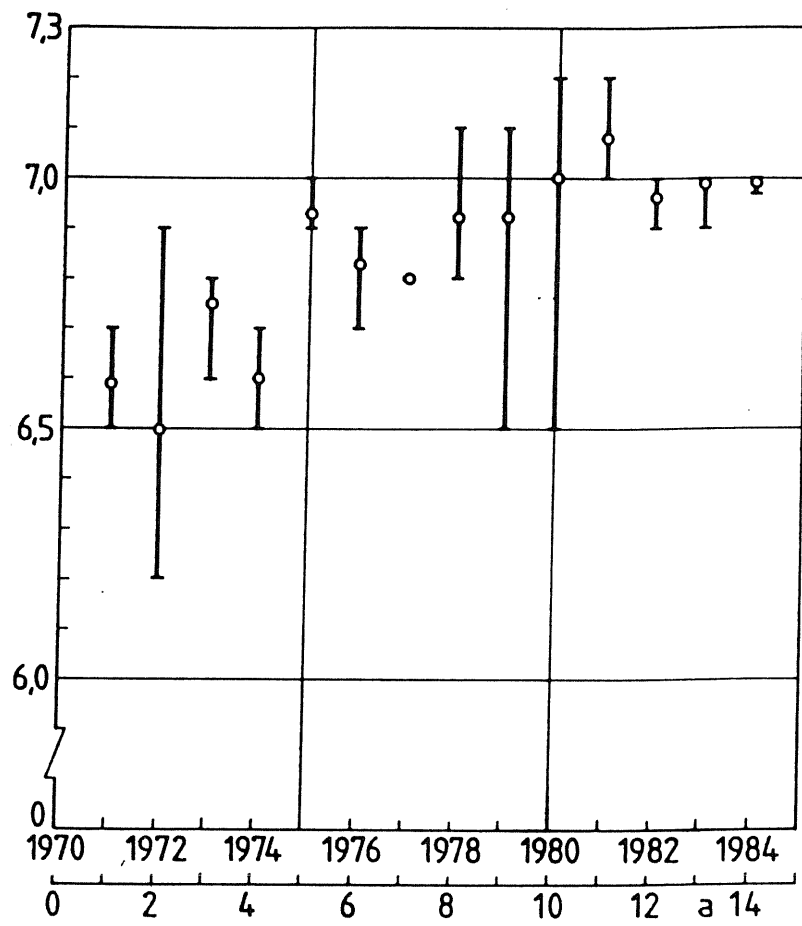












A. P. Golikov
 G. P. Dubinskij
 E. A. Popova
 Harkovin yliopisto

Maanparannus- ja vesi-
 taloussymposio
 Tbilis 19.11.1986

ERAITA NÄKÖKOHTIA VESIEN SÄÄNNÖSTELYN VAIKUTUKSESTA VESIVAROIHIN JA VESITASEESEEN LEVOBEREŽNAJA UKRAINAN ALUEELLA

Levoberežnaja Ukrainan makeavesivarat koostuvat pinta- (joet, järvet, tekojärvet ja lammet) ja pohjavesistä. Alueen makeavesivarat muodostuvat lähinnä Severskij Donetsin vesistöalueen jokien ja Asovanmeren vesistöalueen pienten jokien vesistä.

Levoberežnaja Ukraina kuuluu vesivaroiltaan köyhään alueeseen. Alueen useiden jokien (Severskij Donets, Mius, Kalmius jne) vesimäärät eivät riitä tyydyttämään kulutusta. Paikallisten vesivarojen määrän riittävyys vedenkulutuksen suhteen vaihtelee 50 %:sta (Severskij Donets) 27 %:iin (Mius, Kalmius).

Levoberežnaja Ukrainan vesivarat jakautuvat alueittain epätasaisesti. Tämä johtuu siitä, että vuosivalunnan vaihtelut ovat varsin suuret, eteläisissä osissa vuosivalunta on 20 mm ja Polesjen alueella sekä pohjoisosissa 110 - 120 mm. Väestön ja taloudellisen toiminnan sijoittuminen eivät valitettavasti korreloi luonnon vesivarojen riittävyyden kanssa. Olemme laskeneet ryhmitettyjen tietojen mukaan, että korrelatiokerroin on alueen väestötiheyden ja vuosivalunnan sama arvokäyrien välillä 0,385. Käytännössä tämä merkitsee sitä, että teollisesti kehittyneimmillä Donetsin, Harkovin ja Voroshilovgradin läänien alueilla on vähävetisinä vuosina 1 km² kohti ainoastaan 3 500 - 13 000 m³ vettä, mikä ei riitä tyydyttämään kansantalouden eri alojen ja varsinkaan hyvin nopeasti kehittyvän kasteluun perustuvan maatalouden yhä kasvavaa vedentarvetta.

Veden määrän vähyyttä tehostaa sen epätasainen jakautuminen vuoden eri aikoina. Jokien vuosivalunnasta runsas puolet satuu kevättulvan aikaan. Levoberežnaja Ukrainan luonnon- ja ilmastollisissa olosuhteissa tämä vuosivalunnan epätasaisuus on käytännöllisesti katsoen vastakohtainen suhteessa veden- tarpeeseen teollisuudessa, kunnallisessa vedenhankinnassa, kastelussa jne. ympäri vuoden. Yllämainituista seikoista johtuen jokivesiä on jouduttu hyvin voimakkaasti säännöstelemään tekojärvillä -ja -lammikoilla. Säännöstelyn vaikutus on erityisen huomattava varsinkin vähävetisinä ja vesimääriltään keskinkertaisina vuosina.

Säännöstelyjen pääasiallisimpana tehtävänä on turvata kunnallistalouden, teollisuuden ja kasvavan maatalouden veden saanti. Voimataloussäännöstelyn tarkoituksena on korkeiden voimailaitostehojen ylläpitäminen ja sähkön kokonaistuotannon suurentaminen. Tekojärviä käytetään laajalti myös virkistystarkoituksiin, kuten harrastuskalastukseen, vesilintujen metsästykseseen, vesiurheiluun ja retkeilyyn.

Kaikki Levoberežnajan tekojärvet sijaitsevat tasaisilla mailla. Tasankovesistöjen pinta-alat ovat suuria. Esimerkkeinä suurista tekojärvistä ovat Petšenežkoe ja Krasno-oskalskoe. Petšenežkoe on vv. 1962 - 1963 täytetty Seuerskij Donetsin vesiallas ja se on tarkoitettu Harkovin teollisuusalueen vedenhankintaan sekä lisävesien johtamiseen alueen jokiin. Sen hyötytilavuus on 379 milj. m³. Krasno-Oskolskoe on rakennettu v. 1958. Siitä syötetään lisävetä Severskij Donets- Doubass -kanavaan vähävetisinä vuosina. Sen hyötytilavuus on 580 milj. m³.

Levoberežnaja Ukrainan alueella on myös muita suuria tekojärvviä. Esimerkkeinä mainittakoon Kramatarskoe, joka on rakennettu Kazennyij Torets-jokeen ja joka on tarkoitettu Kramatarskin kaupungin teollisuusvedenhankintaan sekä Kazennyij Torets-jokeen Konstanivin kaupungin viereen rakennettu Konstantinovskoe. Kaikki kaupungin suuret teollisuuslaitokset ottavat teknisen käyttövetensä tekojärvestä. Kalmius-joen vesistöalueelle on rakennettu kolme tekojärveä ja Mius-joen vesistöalueelle kahdeksan. Myös Ingultse-, Sula-, Vorskla-, Psel- ja Orela-jokien vesistöalueilla on lukuisia tekojärvviä.

Levoberežnaja Ukrainan kansantalouden vedenkulutuksen kasvassa, energia- ja kalatalouden kehittyessä sekä tulvansuojelua varten on rakennettava uusia tekojärviä. Myös virkistysalueille tarvitaan vesistöjä erikoiskäyttöön.

Huolimatta suuresta taloudellisesta hyödystään sekä voimataloudellisesta ja virkistyskäyttöarvostaan, on tekojärvirakentamisella myös ei-toivottuja ja suorastaan haitallisia vaikutuksia. Tekojärvet muuttavat luonnonolosuhteita laajoilla alueilla.

Tekojärvien vedet peittävät alleen valtavia jokien tulvatasannealueita. Tulvien kesto aika ja yliveden korkeus pienenevät patojen alapuolella, mikä saattaa johtaa tulvaniittyjen kuivumiseen ja tulvatasanteiden maan hedelmällisyyden huononemiseen. Tulvien voimakkuuden alentuessa vesistöjen hygieninen tila huononee. Laaja vesirakentaminen aiheuttaa runsaasti ongelmia kalataloudelle. Tekojärvet aiheuttavat runsaasti muutoksia luonnossa ja alueen taloudelle: rannat erosioituvat, ranta-alueet jäävät joko tilapäisesti tai pysyvästi veden alle, hydrologiset ja ilmastolliset olosuhteet sekä hygienis-terveydellinen tilanne muuttuvat. Tekojärven rakentamisen seurauksena muuttuvat myös aaltoilu sekä termiset- ja sääolosuhteet. Tekojärvet ovat kuitenkin kaikista negatiivisista vaikutuksistaan huolimatta käytännössä ainoa tekninen keino, joka mahdollistaa vesivarojen järkipärasein ja kokonaisvaltaisen käytön.

Vesi on aina ollut yksi Levoberežnaja Ukrainan tärkeimmistä luonnonvaroista ja vaikuttanut sekä teollisuuden että maatalouden sijoittumiseen ja kehittymiseen. Sen vuoksi vesitalouden alalla ilmeneviin ongelmiin on kiinnitetty huomiota neuvostovallan alkuaajoista lähtien ja paikallisten vesivarojen yhä täydellisemmäksi hyödyntämiseksi on tehty ja edelleen tehdään paljon työtä. Tekojärvien rakentamisen lisäksi alueella on tehtävä useita vesistöalueita kattavia vesistöjärjestelyjä.

Levoberežnaja Ukrainan teollisuusalueiden veden riittävyys on turvattu kanavilla, joita ovat Severskij Donets-Doubass ja Dnepr-Doubass. Severskij Donets-Doubass on rakennettu vv. 1954-1958 siirtämään Severskij Donets-joen vesiä Doubassin teollisuus- ja asutuskeskuksiin. Kanavan pituus on 131,6 km. Se on jaettu viiteen osaan vedenottoamoilla ja 200 metrin korkeuteen veden nostavilla pumppuasemilla. Kanavan mitoitusvirtaama on kesällä $25 \text{ m}^3/\text{s}$ ja talvella $18 \text{ m}^3/\text{s}$. Yllä mainituilla vesitaloudellisilla toimenpiteillä on pystytty turvaamaan Doubassin vedentarve. Severskij Donetsin vedet eivät kä muutenkaan paikalliset vesivarat riitä täydellisesti tyydyttämään Doubassin vedentarvetta tulevaisuudessa, vaan lisävettä tullaan ottamaan Dnepr-Doubassin kanavasta. Kanava alkaa Dneprodžeržinskoen tekojärvestä ja se syöttää vettä Lozovan alueelle, jolta vesi menee osittain Severskij Donets-jokeen Britaju- ja Bereke-jokien kautta Harkoviin sekä osittain haarakanavilla Doubassiin.

Dneprin vettä käytetään moninaiskäyttöön. Vedenhankinnan ohella ratkotaan samanaikaisesti kysymyksiä, jotka liittyvät kasteluun, tulvittamiseen, tekopohjavesiin, kalatalouteen ja virkistyskäyttöön.

Paikallisten vesivarojen käyttö on yksi mahdollisuus ratkaista veden hankinta. Pienten jokien tulvatasanteille ja painanteisiin rakennetaan lammikkoja. Levoberežnaja Ukrainan alueelle on rakennettu pieniä tekojärviä 1800 - 1900 luvun taitteesta lähtien. Vallankumouksen jälkeen tekojärvet on kunnostettu. Kolhoosit ja sovhoosit ovat rakentaneet huomattavan osan lammikoista neuvostovallan aikana, ja niiden lukumäärä on Levoberežnaja Ukrainan alueella jatkuvassa kasvussa. Lammikkojen määrän kasvu on eräs hydrograafisen verkoston muutoksia kuvaavista ilmentäjistä.

Vaikka lammikkojen vesipinta-alat ja tilavuudet ovatkin pieniä, lammikot voivat kuitenkin vaikuttaa huomattavasti pienten ja keskisuurten jokien valuntaan sellaisilla vähävetisillä ja vesisyvyyden suhteen epävakaisilla alueilla, kuten

Levoberežnaja Ukraina, jolla joet ovat vähävetisiä ja lammikkoja vesistöalueilla runsaasti. Jokeen vesistöalueelta päin purkautuva vuosittainen vesimäärä saattaa pienetä lammikkojen vaikutuksesta 10 - 20 %, vähävetisinä vuosina jopa 30 % /1/.

Lammikkoja ei ole rakennettu jokien säännöstelyä varten, mutta ne saattavat vaikuttaa positiivisesti pienten jokien vesitilanteeseen pienentäen niiden vesimääriä tulvan aikana ja vastaavasti suurentaa vesimääriä alivesikaudella kohonneen suotautumisen ja pohjavesien täydentymisen seurauksena.

Taloudellinen toiminta vaikuttaa suoraan jokien valuman vaihteluihin. On tunnettua, että maatalouden harjoittaminen on aiheuttanut muutoksia kasvillisuudessa ja maan kasvukeroksessa alueilla, joilla on kasvatettu viljelykasveja tai joita on käytetty karjanlaitumina. Samalla ovat muuttuneet myös pinta- ja pohjavesiolosuhteet.

Nykyisten käsitysten /1/ mukaan voidaan kaikki taloudellista toimintaa kuvaavat tekijät hydrologisten vaikutuksiensa suhteen jakaa kahteen pääryhmään:

- 1) tekijät, jotka vaikuttavat pääasiassa joen uomassa (tekojärvien rakentaminen ja käyttö, vedenottamot, ja vesien purkulaitteet, vesistöjärjestelyt ym.).
- 2) tekijät, jotka vaikuttavat pääasiassa sulamis- ja sadevesivaluntaolosuhteisiin valuma-alueen pintaan aiheuttaman vaikutuksen seurauksena (agrotekniset ja metsänparannustoimenpiteet, urbanisatio, kuivatus, kastelu ym.).

Tiheämmin asuttujen alueiden valuma-alueilla vaikuttaa monia kumpaankin ryhmään kuuluvia tekijöitä. Ensimmäisen ryhmän tekijät vaikuttavat suoraan valunnan tilaan ja suuruuteen. Toisen ryhmän tekijät vaikuttavat vesitaseen eri osatekijöihin, kuten mm. haihdunta, maa- ja pohjavesien määrä.

Käytännön kannalta on tärkeintä osata arvioida taloudellisen toiminnan mahdollinen vaikutus jokivesimääriin, koska nimenomaan tämä vesitaseen osatekijä ilmaisee loppujen lopuksi antropogeenisten tekijöiden kokonaisvaikutuksen hydrologisen kierron eri vaiheisiin vesistöalueella.

Taloudellisen toiminnan vaikutus Severskij Donets-joen vesivaroihin ja -taseeseen käy ilmi joesta otetusta ja siihen takaisin puretusta vesimäärästä koko joen pituudelta (seuraava taulukko).

Severskij Donets-joesta otettu ja siihen takaisin purettu vesimäärä (m^3/s).

Jokiosuus	Otettu vesimäärä	Takaisin purettu vesimäärä	Vaje
alku - Ogurtsovo	1,56	1,59	0,03
alku - Petšenega	2,66	1,83	- 0,83
alku - Gotvald	14,8	14,3	- 0,50
alku - Izjum	67,7	35,0	-32,7
alku - Belaja Kalitva	90,8	67,7	-23,1

Kun analysoidaan joesta otettuja ja siihen purettuja vesimääriä koko joen pituudelta, voidaan todeta, että joen uomassa kulkevan veden määrä pienenee jokea alaspäin mentäessä vaikakin on havaittavissa eroja eri jokiosuuksilla. Joen alun ja Ogurtsovoon kylän välillä joen vesimäärä jopa hieman lisäntyy, mikä johtuu pohjavesien käytöstä.

Ogurtsovon ja Petšenegan kaupungin välillä vettä otetaan enemmän kuin mitä siihen tulee. Gotvaldin kaupungin alueella uomaan johdetaan runsaasti teollisuus- ja asumajätevesiä, mikä pienentää veden vajetta joessa. Vettä otetaan joesta eniten ja vastaavasti myös vaje on suurin Gotvaldin ja Izjumin kaupunkien välisellä jokiosuudella. Doubassin alueelta johde-

taan jokeen runsaasti kaivosvesiä, minkä seurauksena otetun ja takaisin jokeen johdetun vesimäärän ero keskimääräisesti ottaen koko joen suhteen on pienempi. Novaja Kalitvan kaupungin kohdalla palautumattoman vesimäärän suuruus on $23,1 \text{ m}^3/\text{s}$, mikä on 20 % keskimääräisestä ylivuotisesta valumasta. Palautumaton vesimäärä on suhteellisesti vieläkin suurempi vähävetisinä vuosina.

Vesivarojen moninaiskäyttö perustuu huomattavassa määrin vesistöjen hydrologisen tilan ennustamiseen. Eräs tärkeimmistä keinoista selvitettäessä sekä käytännöllisiä että teoreettisia hydrologisia ja taloudellisia ongelmia on vesitasetutkimus. Vesitasetta koskevien tutkimusten tulokset ovat perustana laadittaessa kavalitatiivisia arvioita vesivaroista ja niiden muutoksista ihmisen toiminnan alaisissa olosuhteissa.

Tekojärvien vesitaseen tutkiminen on erityisen tärkeää laadittaessa hydrologisia perusteita suunnitelmille, jotka koskevat vesivarojen järkiperaistä käyttöä ja ohjausta jaettaessa niitä alueellisesti ja ajan suhteen.

Tekojärven yksinkertaistettu keskitasekaava on:

$$\nabla = P \pm A, \text{ jossa}$$

∇ = tuleva vesi

P = poistuva vesi

A = veden määrä tekojärvessä

Tarkastelemme vesitaseen osatekijöitä käyttäen esimerkkeinä Petšenežkoe ja Krasno-Askolskoe tekojärviä.

Petšenežkoe tekojärven tulopuolen tärkeimmät osatekijät ovat:

- a) Severskij Donets-joen tulovirtaama (valuma-alueen p-ala $5\,540 \text{ km}^2$) on 65 - 70 % tulevan veden kokonaismäärästä

- b) sivuvesistöjen tulovirtaaman ja pintavaluman osuus (p-ala $2\,770\text{ km}^2$) tulevan veden kokonaismäärästä on 25 - 30 %.
- c) sadannan osuus tulevan veden kokonaismäärästä laskettuna aritmeettisena keskiarvona keskimääräistä vesipinta-alaa kohti on n. 5 %.

Vesitaseen poistuvan veden määrä koostuu seuraavista osista:

- a) tekoaltaasta poistuvan veden määrä mitattuna Petšenegon padon alakanavasta on n. 80 % taseen poistopuolesta
- b) haihtumiseen lasketaan kuluvan tekojärven vesipinta-ala huomioon ottaen n. 10 %.
- c) vettä otetaan tekojärvestä keskimäärin $42 - 44\text{ milj.m}^3/\text{a}$, mikä on 8 - 10 % taseen poistopuolesta. Erillisinä kuukausina määrä saattaa huomattavastikin nousta ja olla $> 20\%$.

Veden keräytyminen altaaseen ja sen väheneminen altaassa lasketaan tilavuuden ja pinnankorkeuden välisestä riippuvuussuhteesta.

Krasna-Oskolskoon tekojärven vesitaseen tulovirtaamasta pääuomassa tulee n. 90 %, sivuvesistöjen virtaamana n. 5 % ja suorana sadantana n. 5 %.

Vesi poistuu tekojärvestä voimalaitoksen kautta. Patoon suotautuu vedestä n. 40 % ja ylisyöksynä puretaan n. 50 %. Haihdunnan osuus on n. 5 % ja kansantalouden eri tarpeisiin otetaan vuosittain n. 5 % veden kokonaismäärästä.

Levoberežnaja Ukrainan tekojärvien vesitaseen osatekijöiden analysointi on osoittanut, että tärkeänä tekijänä taseen poistopuolella on kansantalouden eri tarkoituksiin otettu vesimäärä, varsinkin keväällä ja kesällä. Vettä otetaan paljon tekojärvien alapuolelta suoraan joesta, mikä vesitaselaskelmissa ei oteta huomioon.

Tekojärvien tai muita jokisäännöstelyyn tarkoitettuja laitteita rakennettaessa ja käytettäessä tulee entistä täydellisemmin ottaa huomioon kansantalouden käyttämän veden määrän ja kuiville alueille rakennettavien vesivarastojen perustamisen tehostamisen ohella otettavien ja purettavien vesimäärien muutos, jotta viipymän pieneneminen ja haihduntahäviöt saataisiin mahdollisimman pieniksi.

KIRJALLISUUS:

1. Shiklomanov, I.A. Jokien vesisyyden antropogeeniset muutokset. - L.: Gidrometizdat, 1979. - s. 301.

E. Alasaarela
Valtion teknillinen
tutkimuskeskus

Maanparannus- ja vesi-
taloussymposio
Tbilisi 19.11.1986

TEKOALTAIDEN JA JOKIPORRASTUSTEN VAIKUTUS ALAPUOLISEN VESISTÖNOSAN VEDEN LAATUUN POHJANMAALLA

1. JOHDANTO

Laakealla Pohjanmaalla ensimmäiset tekojärvet rakennettiin vesistöjen latvoille 1960-luvun alkupuolella tulvasuojelua varten. Vuosikymmenen loppupuolella ja 1970-luvulla rakennettujen tekoaltaiden käyttötarkoituksena oli tulvasuojelun lisäksi voimatalous /14/. Seuraavassa tarkastellaan tekoaltaiden vaikutuksia alapuolisella jokiosuudella. Päähuomio kiinnitetään veden happi- ja ravinnepitoisuuksiin sekä säännöstelyn aiheuttamiin veden kiintoainepitoisuuden muutoksiin.

2. POHJANMAAN TEKOALTAAT

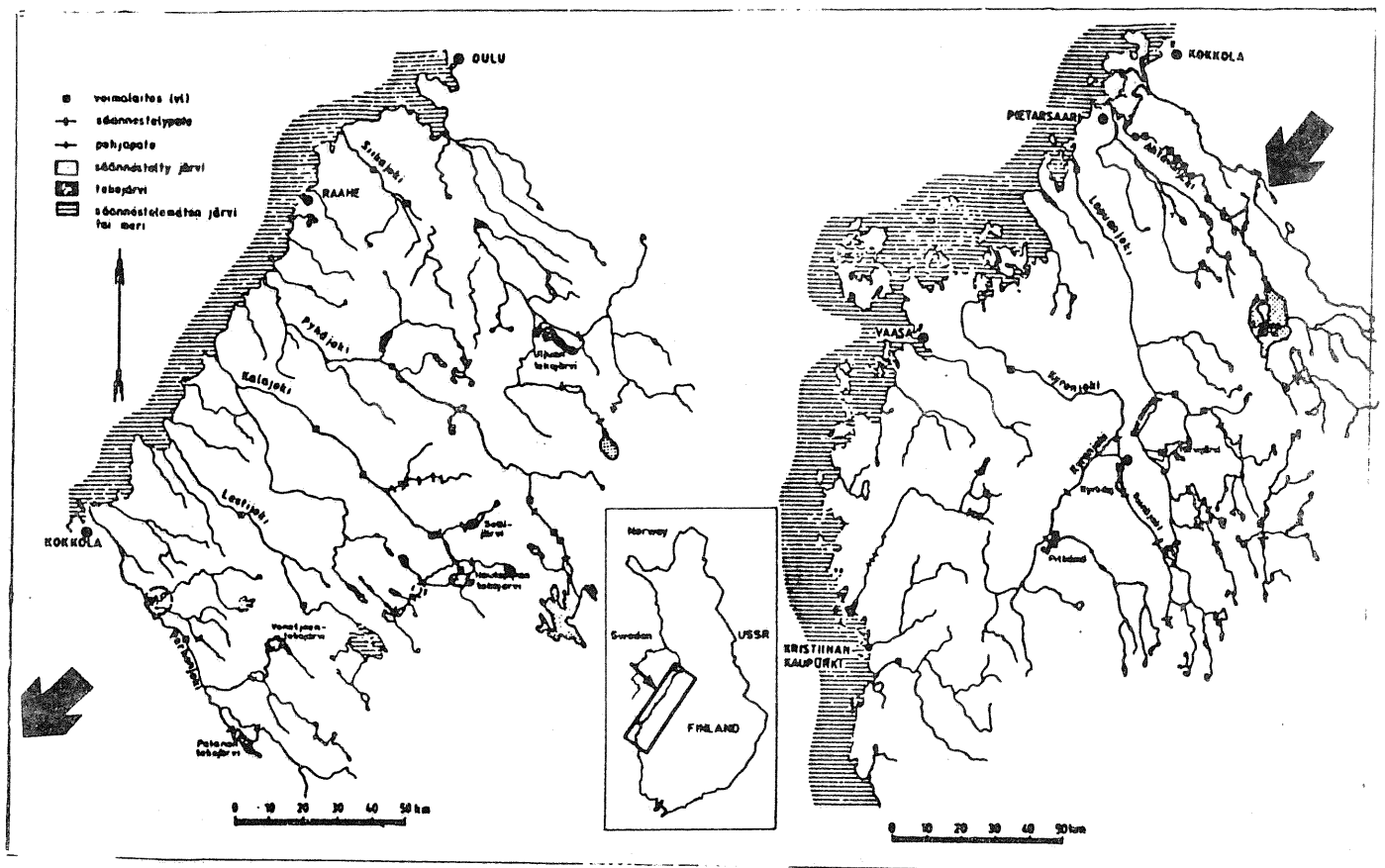
Pohjanmaalle (kuva 1) on rakennettu kaikkiaan 25 tekojärveä. Tekojärvien yhteinen säännöstelytilavuus on 450 milj.m³. Eräiden tekoaltaiden ominaisuuksia on esitetty taulukossa 1.

Säännöstelytilavuudeltaan suurin tekojärvi on Uljua. Kaikissa tekojärvissä vesipinta pyritään kesäkuukausina pitämään lähellä ylärajaa. Kevättalvella tekojärvien vedenpinta lasketaan hyvin alas ja altaat täytetään tulvavesistä.

Tekojärvien yhteyteen on yleensä rakennettu myös voimalaitos. Useilla voimalaitoksilla harjoitetaan lyhytaikais-säännöstelyä. Tämän vaikutus tekojärven vedenkorkeuden vaihteluun on vähäinen mutta alapuolisella jokiosuudella vedenkorkeus voi vuorokauden sisällä vaihdella 0,2 - 1,0 m /3/.

Taulukko 1. Eräiden Pohjanmaan tekoaltaiden ominaisuuksia /6,9,21/.

Tekojärvi	Täyttö- vuosi	Pinta- ala km ²	Tila- vuus 10 ⁶ m ³	Keski- syvyys m	Max. säännös- telyväli	Teor. vii- pymä d	Turve- maiden osuus pohjas- ta %	Lähtevän veden happipitoisuus kevättalvella mg/l
Pitkämä	1971	1,05	7,0	7,0	10,0	4	0	6 - 10
Kyrkösjärvi	1981	6,4	16,0	-	2,0	26	50	4 - 7
Hirvijärvi	1973	13,5	29,4	2,2	4,0	122	40	-
Patana	1967	11,2	53,5	4,8	11,5	194	32	5 - 10
Venetjärvi	1965	17,5	28,0	1,6	3,5	204	58	4 - 10
Settijärvi	1970	4,20	10,2	2,4	2,5	52	59	4 - 9
Hautaperä	1975	7,6	50,0	6,7	11,5	70	30	3 - 6
Ulju	1970	28,0	146	5,2	8,0	153	48	0 - 1



Kuva 1: Tarkastelun kohteena oleva alue.

3. TEKOAALTAIDEN VEDEN LAATU

Tärkeimpiä tekojärven veden laatuun vaikuttavia tekijöitä ovat mm. seuraavat /4/:

- tulevien vesien laatu
- pohjan laatu
- viipymä
- säännöstelykäytäntö

Pohjanmaan jokivesistöt ovat yleisesti suoperäisen valuma-alueen ja järvien vähyyden vuoksi ruskeavetisiä. Useimmat tekoaltaat sijaitsevat vesistön latvaosissa ja niihin tulevien vesien määrä suhteessa tilavuuteen (viipymä) on suuri. Tekoaltaiden pohjalle on turvealueiden osuus yleensä suuri. Näistä tekijöistä johtuen Pohjanmaan tekoaltaissa on yleisesti huono veden laatu /8/.

Tekojärvien veden laadussa kannattaa kiinnittää huomio seuraaviin muutoksiin /9/:

- pitkäaikainen kehitys
- vuodenaikaiset vaihtelut
- alueelliset erot (horisontaaliset ja vertikaaliset).

Pitkäaikaiseen kehitykseen vaikuttavat pohjasedimentissä tapahtuvat muutokset. Kyrkösjärven tekoaltaalla tehtyjen tutkimusten /9/ mukaan ensimmäisinä kesinä huuhtoutuu runsaasti orgaanista ainetta ranta-alueilta. Syvän veden alueella terrestrinen aines ei juuri ole hajonnut. Alkuvuosien aikana useissa altaissa todettu heikko veden laatu johtunee rantaeroosion tuottamasta hienojakoisesta orgaanisesta aineesta /14/.

Orgaanisen aineksen hajoamisesta johtuvat veden laatumuutokset keskittyvät talvikauteen. Hapen loppumisen seurauksena veden fosfori- ja rautapitoisuus sekä veden väri lisääntyvät. Kesällä useimmissa tekoaltaissa tavataan korkea ravinnepitoisuus. Vesien suuresta humuspitoisuudesta (heikot valaistusolot) johtuen levästön kasvu ei lisäännä ravinnepitoisuuksien edellyttämälle tasolle. Suotuisiin sääolosuhteisiin liittyviä leväkukintoja on todettu.

Tällaisissa tilanteissa tavataan myös tilapäistä lämpö-tilakerrostuneisuutta, jolloin happitilanne heikkenee nopeasti lähellä pohjaa /9/. Yleensä happitilanne kesäaikana on hyvä.

4. ALAPUOLISEN VESISTÖNOSAN VEDEN LAATU

4.1 Yleistä

Tekoaltaiden vaikutus alapuolisen vesistönosan veden laatuun on ensisijaisesti riippuvainen tekoaltaasta tulevien ja vesistön virtaamien suhteesta ja juoksutusten ajallisesta jakautumisesta /14/. Tekoaltaasta tulevien ainemäärien ohella viimeksimainittu eli tekoaltaan säännöstely voi lisätä alapuolisella jokiosuudella uoma-aineksen irtoamista jokiveteen.

Tekoaltaiden vaikutusten arvioimisessa otetaan vertailukohteeksi yleensä tilanne joessa ennen altaan rakentamista. Tekoallas sinänsä pienentää vuositasolla vesistön ainevirtaamia /2/. Tekoaltaan aiheuttama kevättulvan aikana tulleen ainemäärän ajallinen siirtymä ja altaan heikentynyt happitilanne aiheuttavat veden laadun heikkenemistä alapuolisessa vesistönosassa ennen altaan käyttöönottoa vallinneeseen tilanteeseen verrattuna.

4.2 Happitilanne

Tekoaltaat vaikuttavat alapuolisen vesistönosan happipitoisuuksiin lähinnä talvella. Tilapäisiin kerrostumisiin liittyvien hetkellisten happikatojen vaikutusta kesäaikana ei ole todettu.

Tekoaltaasta lähtevän veden happipitoisuuteen vaikuttaa talvella viipymä. Jos tekoaltaaseen tulevan veden happitilanne on hyvä, lähtevän veden happitilanne voi muodostua kriittiseksi, kun altaan viipymä talvella on useita kuukausia (ks. taulukko 1).

Talven happitilanteen kehittyminen on useissa Pohjanmaan altaissa ollut samansuuntainen. Lähtevän veden happipitoisuus on ollut huonoimmillaan ensimmäisten vuosien aikana (1 - 3 vuotta). Tämän jälkeen happitilanne on vakiintunut /6/. Uljuan altaassa on todettu säännöllinen vuotuinen hapenkulutuksen väheneminen yhdeksän ensimmäisen vuoden aikana. Vuotuinen muutos on 4 % /12/.

Tekoaltaiden vaikutus talven happitilanteeseen näkyy Kalajoessa ja Siikajoessa 80 - 100 km:n etäisyydellä alapuolisessa vesistössä (kuva 2./1/). Avointen koskien ja lisävirtaaman vaikutuksesta happitilanne paranee jokien suualueita kohden.

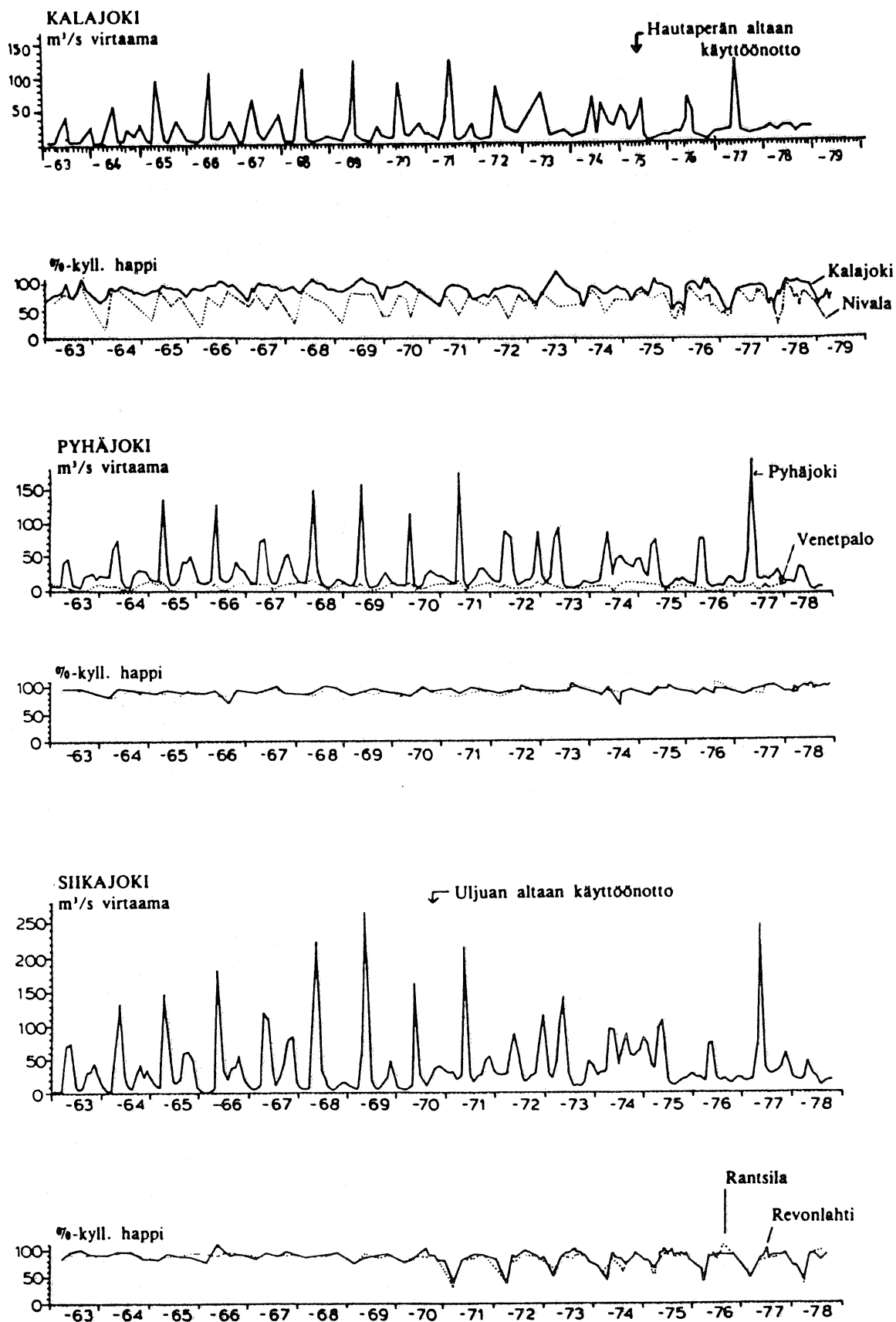
4.3 Ravinteet

Tekoaltaan vaikutus vesistön ravinnepitoisuuksiin liittyy hapettomuuden aiheuttamaan ravinnelisiin ja viipymämuutoksiin. Ensiksimainitut liittyvät talvikausiin. Kevät-tulvan aikana altaaseen kerätyt vedet juoksutetaan kesällä ja tähän voi liittyä ravinnepitoisuuksien kasvua alapuolisessa vesistössä kesäaikana.

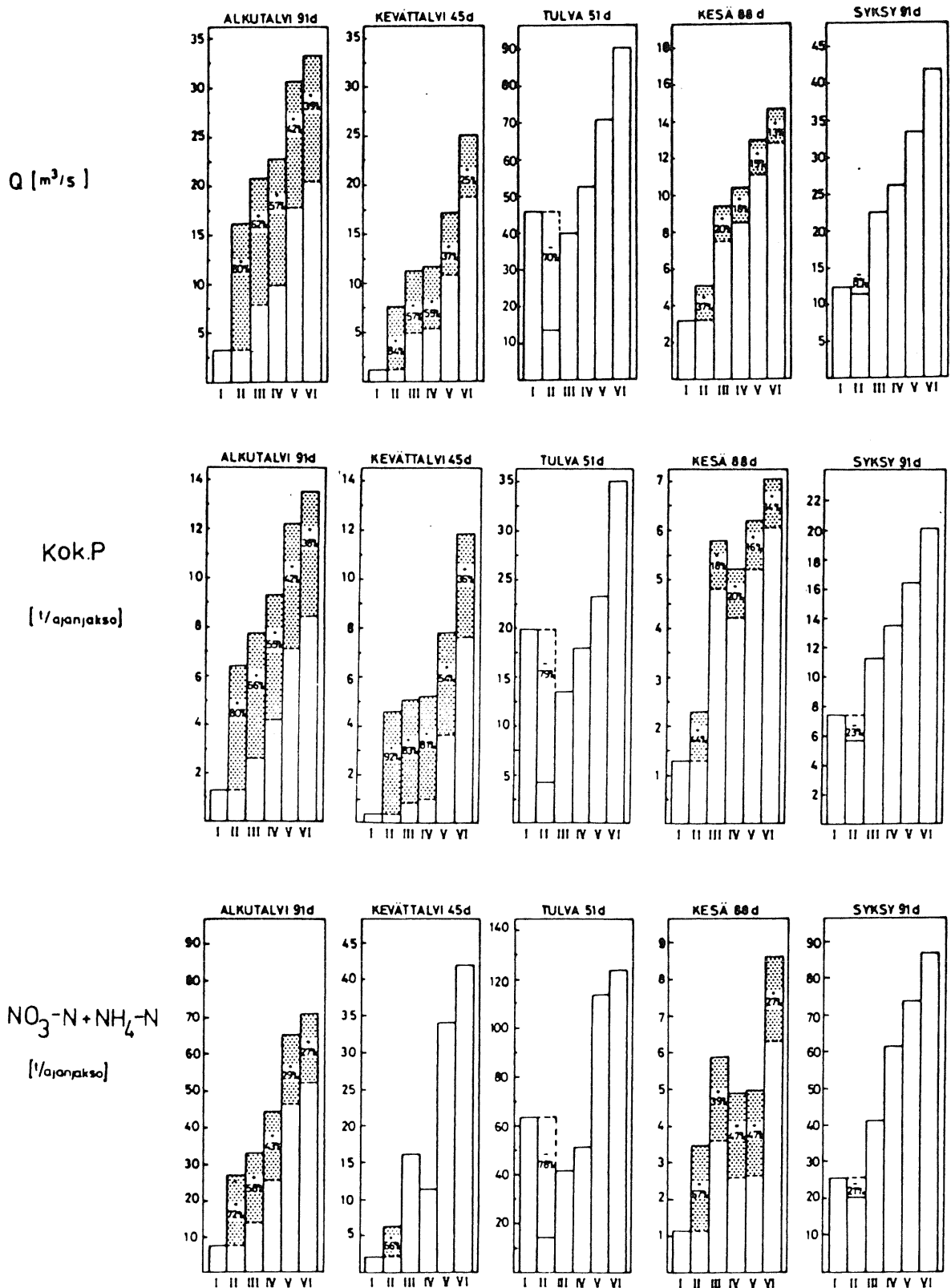
Vuositasolla laskettuna tulevien vesien fosforista pidättyy Uljuan altaaseen 15 % mutta typen osalta muutosta altaassa ei ole todettu /15/. Hautaperän altaassa vastaavat pidätymisarvot ovat 55 % ja 38 % /1/. Muutokset liittyvät kuitenkin tulvavesiin. Talvella ja usein myös kesällä altaista lähtee enemmän ravinteita kuin sinne tulee (kuva 3).

Alapuolisen vesistön ravinnepitoisuuksien osalta altaan vaikutus painottuu alkukesään (kuva 4). Uljuan altaasta juoksutettavassa vedessä on runsaasti liukoista typpeä. Vuorokausisäännöstelyn vuoksi korkeat typpipitoisuudet kulkeutuvat joessa tulppamaisina muodostumina /3/.

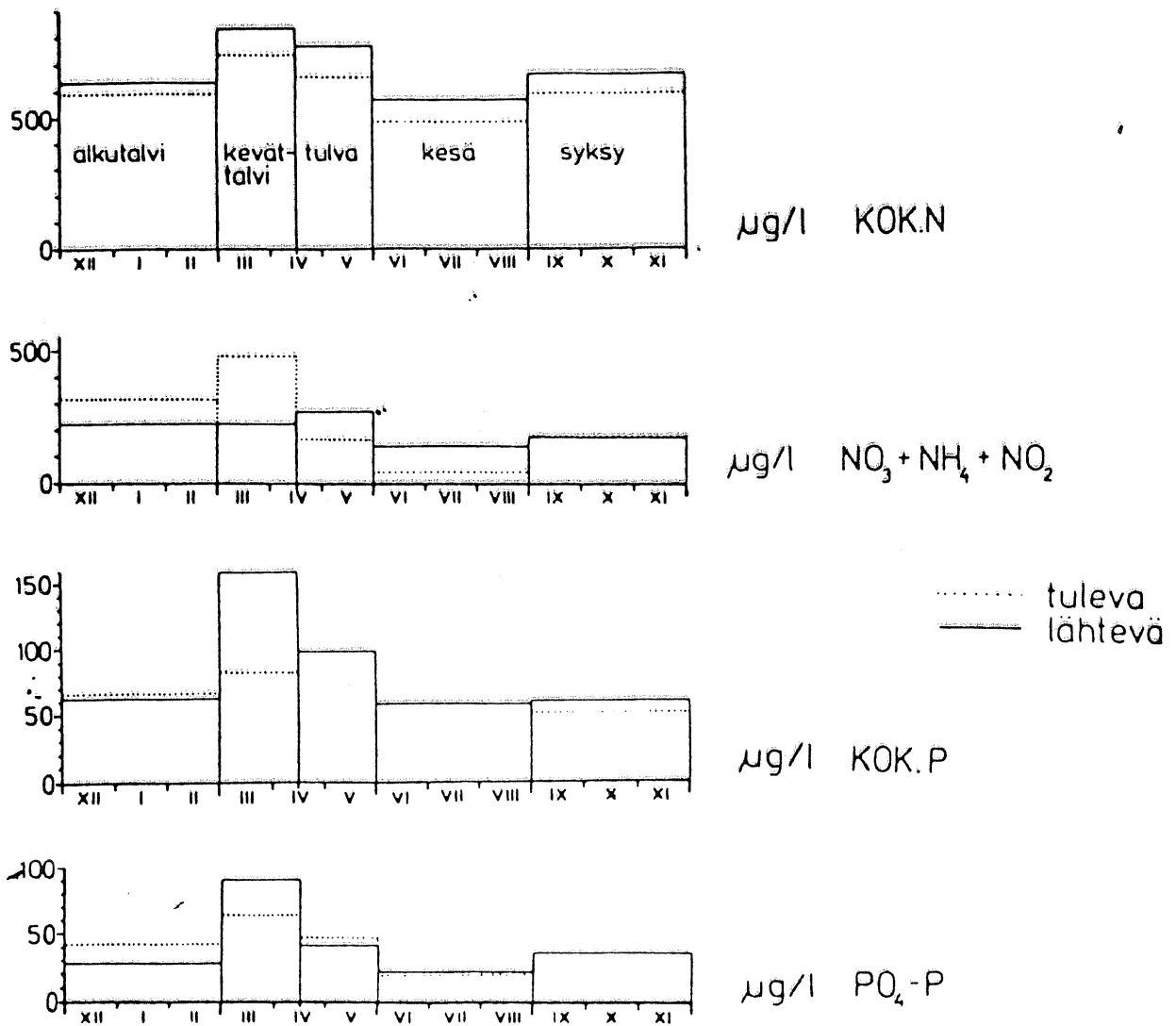
Kalajoella tehdyt levätestit /7/ ja Siikajoella tehdyt perifytonkokeet /4/ osoittavat, että tekoaltaassa ravinteet muuttuvat levästön kannalta tehokkaaseen muotoon. Alapuolisten jokien lyhyen viipymän ja veden runsaan



Kuva 2: Virtaaman ja happitilanteen kehittyminen Siikajoessa Uljuan altaan alapuolella ja Kalajoessa Hautaperän altaan alapuolella sekä Pyhäjoessa (ei tekoaltaita) v. 1963-1979.



Kuva 3: Virtaama sekä kokonaisfosforin ja kokonaistypen ainevirtaama (t/ajanjakso) Siikajoessa eri vuodenaikoina v. 1980. Varjostettu alue kuvaa Uljuan altaan aiheuttamaa lisää /15/. I = Uljuja, tulo, II = Uljuja, lähtö, III = Sipola, IV = Rantsila, V = Paavola ja VI = Revonlahti (Siikajoen suu, 100 km Uljuan alapuolella).



Kuva 4: Ravinnepitoisuuksien muuttuminen Uljuan altaassa. Keskimääräiset pitoisuudet Uljuan altaaseen tulevassa ja altaasta lähtevässä vedessä v. 1975-1979 /2/.

humuspitoisuuden johdosta planktinen levästä ei lisäännä ravinnepitoisuutta vastaavalla tasolla /15/.

4.4 Kiintoaine

Tekoaltaat pidättävät tehokkaasti altaaseen tulevien vesien kiintoaineita. Voimalaitoksella toteutettava säännöstely voi aiheuttaa jokiuoman kulumista ja kiintoainepitoisuuden muuttumista. Muutokset liittyvät lisääntyneisiin talvi-virtaamiin ja lyhytaikaissäännöstelystä johtuvien virtaus-huippujen erosioivaan vaikutukseen. Pohjanmaalla jokiuoman kuluminen rajautuu muutamien kilometrien etäisyydelle voimalaitoksen alapuolella porrastamattomalla jokiosuudella /3/.

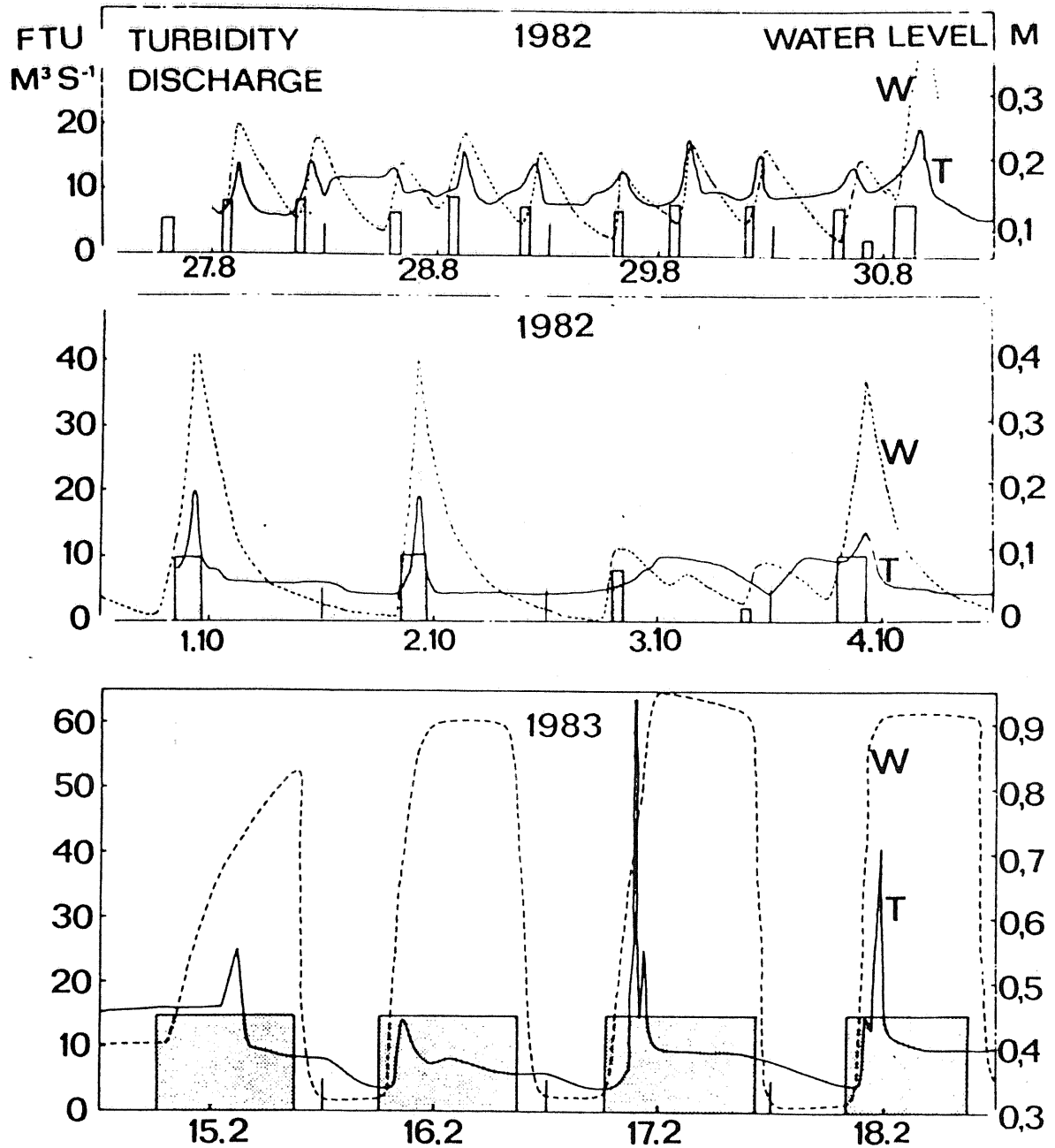
Jokiveden kiintoainepitoisuus lisääntyy eniten vedenkorkeuden nousuvaiheessa, jolloin virtausnopeus on suurin (kuva 5). Kriittisen virtausnopeuden ylittyttyä veden kiintoainepitoisuus nousee sivueroosion tuloksena. Talvella jääpeite suojaa eroosiovyöhykettä, joten tapahtuma liittyy lähinnä kesäaikaan /3/.

5. VEDEN LAATUMUUTOSTEN ARVIOINTI

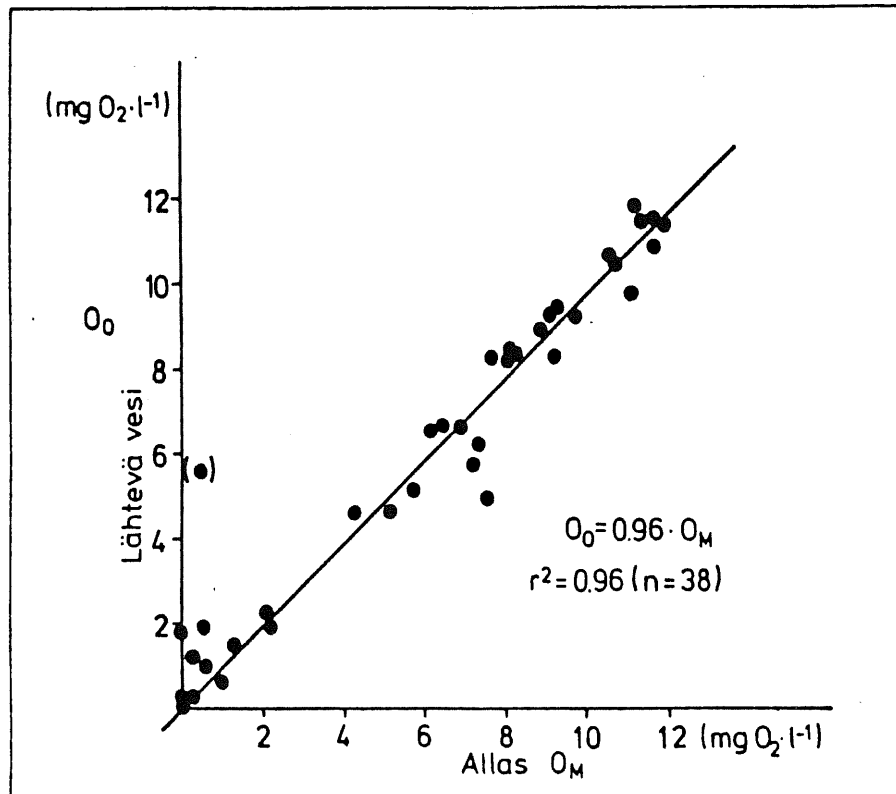
Tekoaltaan tilan ja sen vaikutusten arviointia varten saadaan käyttökelpoinen havaintoaineisto altaasta lähtevän veden seurannan avulla. Pohjanmaan tekoaltaista juoksettava vesi on yleensä peräisin koko vesipatsaasta. Tämän vuoksi lähtevä vesi kuvaa varsin hyvin koko altaassa vallitsevaa tilannetta (kuva 6).

Talvitilanteen osalta happipitoisuuden seuranta on tärkein. Kesällä ravinnepitoisuuksien ohella voidaan käyttää periytöntutkimusta altaan vaikutusten seurannassa /5/.

Uljuan altaalle on kehitetty hapen varastomalli, jossa hapen eri kulutustekijät on yhdistetty yhdeksi kulutuskertoimeksi /12/. Happipitoisuuden muutosta altaassa kuvaa seuraava yhtälö: yhtälö + selitykset.



Kuva 5: Juoksutukset Hirvijärven tekoaltaasta (pylväät), suhteellinen vedenkorkeusmuutos (W) ja piirtävällä mittarilla mitattu sameus (T) Nurmonjoessa 4 km:n etäisyydellä voimalaitokselta avovesikaudella 27.8. - 30.8., 1.10.-4.10.1982 ja jääpeitteisenä aikana 15.2.-18.2.1983 /3/.



Kuva 6: Uljuan tekoaltaasta lähtevän veden ja altaan veden happipitoisuuksien välinen riippuvuus /12/.

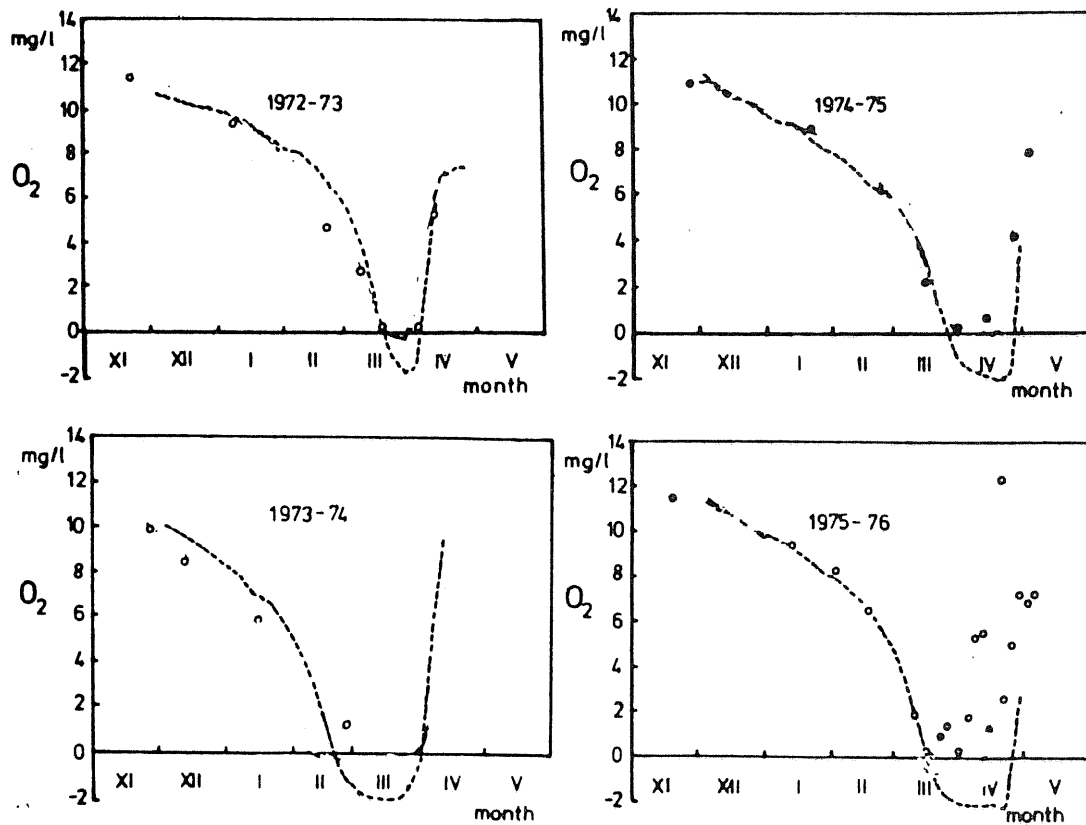
$$Vdc + CdV = dt [C_1(1 - D) Q_1 - C(Q_0 - DQ_1) - F \cdot J \cdot C_1 - Ak(C)]$$

V = altaan tilavuus m^3	D = oikovirtauskerroin ($D=0$ täydellinen tuloveden sekoittuminen)
A = altaan pinta-ala m^2	$D=1$ täydellinen tuloveden oikovirtaus)
Q_1 = tulovirtaama m^3/d	$k(C)$ = hapenkulutuskerroin $g/m^2 \cdot d$
Q_0 = menovirtaama m^3/d	F = sitoutumisaste jäähän
C = altaan sekoittuneen osan happipitoisuus g/m^3	J = jään muodostumisnopeus m^3/d
C_1 = tulovirtaaman happipitoisuus mg/m^3	

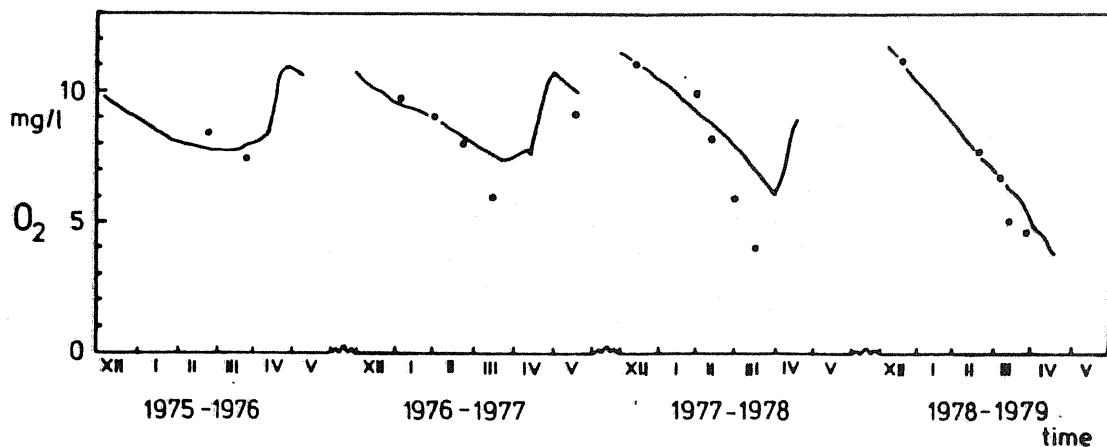
Uljuan altaalla saatua hapenkulutuskerrointa muuttamatta mallia sovellettiin Hautaperän ja Pitkämön tekoaltaisiin, joiden viipymä talvella on aivan eri luokkaa kuin Uljuassa (kuva 7). Malli tulosti kyseisten altaiden happitilanteen talvella varsin hyvin (keskivirhe alle $1 \text{ mgO}_2/l$). Mallia on sovellettu eräiden suunniteltujen tekoaltaiden happitilanteen ennustamiseen /1,2,11/.

Nurmonjoesta hankitun havaintoaineiston avulla on kehitetty kiintoaineen kulkeutumismalli jokiin, joissa harjoitetaan vuorokausisäännöstelyä /3/. Mallia on sovellettu Kyrönjokeen säännöstelyn aiheuttaman suojaustarpeen arviointia varten.

ULJUA



HAUTAPERÄ



Kuva 7: Mitatut (pisteet) ja happitasemallilla saadut (viiva) happipitoisuudet Uljuan altaassa talvikausina 1972-1976 ja Hautaperän altaassa talvikausina 1975-1979 /13/. Havainnot on tehty altaista lähtevästä vedestä.

6. JOKIPORRASTUKSEN VAIKUTUS

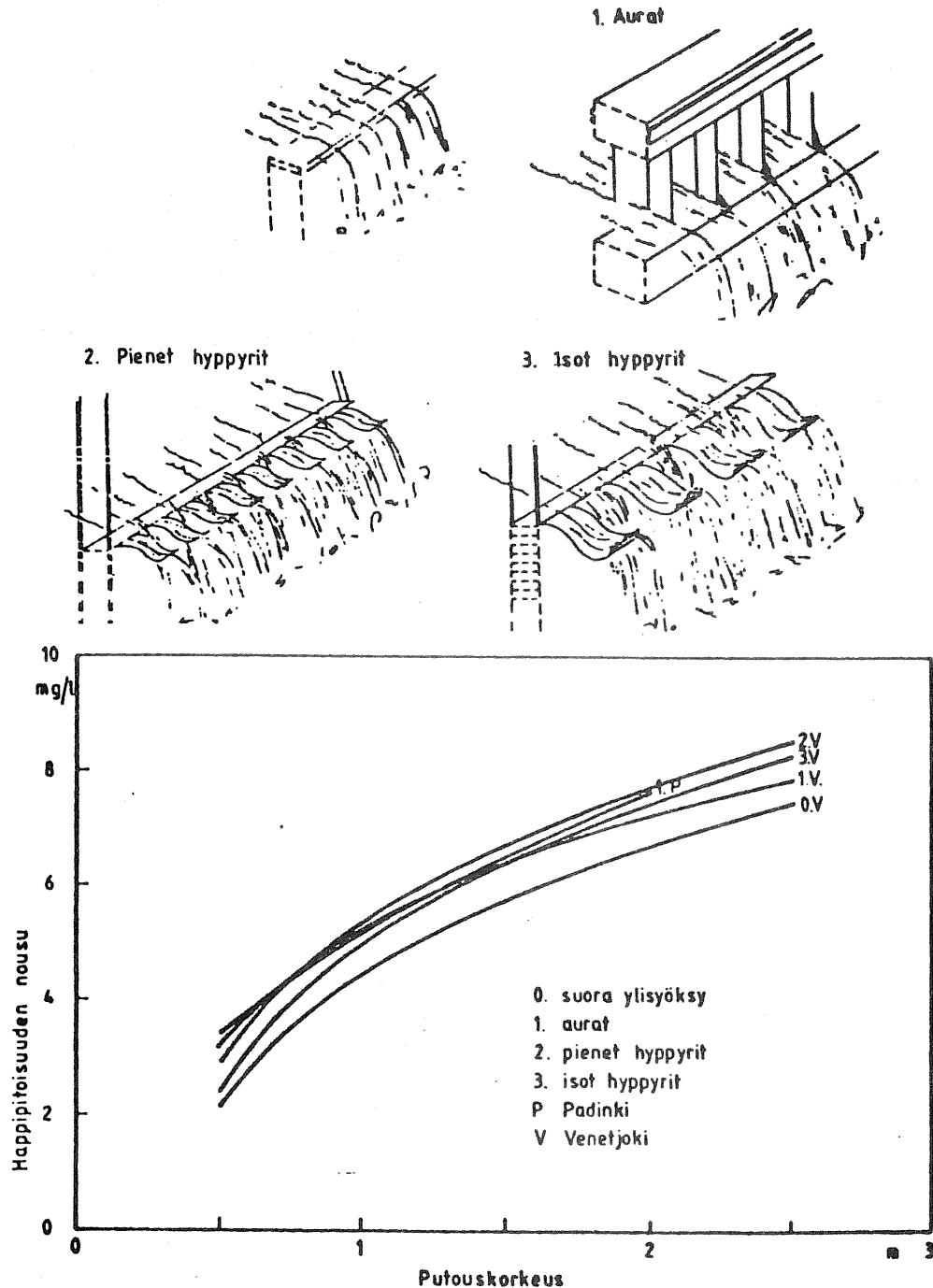
Porrastuksen avulla voidaan säätää vedenkorkeusvaihteiluita tekoaltaan alapuolella. Samalla virtausnopeudet pienenevät ja säännöstelyn aiheuttamaa sivueroosiota ja jokiveden kiintoainepitoisuuden heilahtelua saadaan vähennettyä. Porrastuksen avulla voidaan vedenkorkeusvaihteluita siirtää alueille, joissa niistä ei ole haittaa.

Jokiporrastus poistaa joesta koskia, joissa tapahtuisi veden hapettumista. Samalla se antaa mahdollisuuden ylisyöky-
padolle järjestettävään ilmastukseen. Kalajoella on tutkittu ilmastuksen vaikutusta jokiveden happipitoisuuteen /10/ (kuva 8). Esim. yhden metrin putouskorkeudella happipitoisuus voi nousta nolasta tasolle 4 mg/l, kun veden lämpötila on lähellä 0°C. Tutkimuksen mukaan Kalajoessa voidaan ilmastuksen avulla turvata riittävä veden happipitoisuus myös pitkinä ja kuivina talvina. Joessa tapahtuvan ilmastuksen ohella happitilannetta voidaan parantaa myös Hautaperän altaassa tapahtuvan ilmastuksen avulla /10/.

7. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tekoaltaista tulevan veden laatu on ollut heikointa 1 - 3 vuoden ajan altaan patoamisen jälkeen. Muutokset tämän jälkeen ovat hitaita. Alapuolisen vesistön kannalta näkyvin vaikutus ilmenee talvella happitilanteen heikkenemisenä. Altaaseen tulevien vesien laadun ohella tärkeä happitilanteeseen vaikuttava tekijä on altaan viipymä. Happitilanteen arviointiin on käytettävissä matemaattisia malleja. Kesäaikaiset muutokset liittyvät ravinnetalouteen. Eräät tutkimukset antavat viitteitä siitä, että tekoallas lisää levästölle käytökelpoisia ravinteita alapuolisessa vesistöissä. Pohjanmaan jokivesistöt ovat ruskeavetisiä ja tähän liittyen planktonlevästön määrä tekoaltaiden alapuolisilla jokiosuuksilla on vähäinen.

Tekoaltaan yhteyteen rakennettujen voimalaitosten säännöstely voi aiheuttaa jokiuoman kulumista ja jokiveden kiintoainepitoisuuden heilahtelua. Tätä voidaan vähentää porrastuksen avulla. Portaitten yhteyteen on mahdollista järjestää ilmastus. Tekoaltaiden alapuoliset happiongelmat on mahdollista välttää ilmastuksen avulla. Nyt etsitään ratkaisuja tekoaltaasta alapuoliselle vesistön osalle tulevien muiden vedenlaatumuutosten vähentämiseen.



Kuva 8: Tulokset Padingin ja Venetjoen ilmastustutkimuksista pudotuskorkeuden funktiona. Ilmastuspadon erilaiset harjatyytit on esitetty ylhäällä /10/.

KIRJALLISUUS

1. Alasaarela, E. 1979: Pohjanmaan tekoaltaista tehtyihin tutkimuksiin perustuva ennuste Luonuan altaan veden laadusta ja vaikutuksesta Pyhäjoen vesistössä. - Tutkimusraportti. Pohjois-Suomen Vesitutkimustoimisto. 60 s. Oulu.
2. Alasaarela, E. 1982: Ennuste Leuvan altaan vaikutuksesta Siikajoen tilaan. Vesihallituksen monistesarja 101:1-61.
3. Alasaarela, E. & Virtanen, M. 1985: Effects of short-term regulation of power plants on erosion and water quality of a river.
4. Heinonen, P. 1982: Vesistörakentamisen vaikutukset veden laatuun. In Jutila, E. & Hilden, M.: Vesistöjen rakentaminen ja kalatalous, s. 53-59. Vesi- ja kalatalousalan ammattijärjestö VKA RY. Helsinki.
5. Heinonen, P. & Herve, S. 1984: A rapid biological method for the monitoring of eutrophication. Arch. Hydrobiol. 101:135-142.
6. Hongell, H. 1985: Tekojärvien veden laadusta vuosina 1962-1984. Käsikirjoitus. Kokkolan vesipiirin vesitoimisto.
7. Itkonen, J. 1983: Tutkimusraportti Hautaperän altaan vaikutuksista Kalajoessa. Pohjois-Suomen Vesitutkimustoimisto. 75 p. Oulu.
8. Kenttämies, K. 1980: Characteristics of the water of Finnish man-made lakes. - Publ. Wat. Res. Inst. 39:13-30.
9. Koskenniemi, E. 1985: Kyrkösjärven tekojärven veden laadun ja eliöstön kehityksestä vuosina 1981-1985. Tutkimusraportti. 60 p. Vaasan vesipiirin vesitoimisto. Vaasa.
10. Lakso, E. 1984: Happitilanne ja sen parantaminen Kalajoen vesistössä. Vesihallituksen monistesarja 277:61-74.

11. Meskus, E. 1983: Kollajan altaan veden laatu, vaikutukset altaan alapuolisen vesistön veden laatuun ja kalojen elohopeapitoisuuteen. Pohjois-Pohjanmaan seutukaavaliitto. Julkaisusarja A:60:59-87.
12. Perttunen, V. 1983: Humuspitoisen tekoaltaan talvenaikaisen happitilanteen kehittyminen. Sovellutuskohdeena Uljuan allas. Oulun yliopisto. Vesirakennustekniikan laitos. Sarja A. Julkaisu 12:1-147.
13. Perttunen, V. & Alasaarela, E. 1981: Applying the oxygen model of Uljua reservoir to some artificial lakes. Aqua Fennica 11:26-35.
14. Vesihallitus 1983: Vesistörakentamisen haittavaikutukset. Vesiensuojelun tavoiteohjelmanprojektin osaraportti n:o 12. Vesihallituksen monistesarja 199:1-89.
15. Virta, P. 1985: Uljuan altaan vaikutus Siikajoen veden laatuun ja ainetaseisiin. Vesihallituksen monistesarja 334:1-76.

M. J. Prytkova
SNTL:n Tiedeakatemian
järvitieteen laitos

Maanparannus- ja vesi-
taloussymposio
Tbilisi 19.11.1987

PIENTEN TEKOKÄRVIERN VAIKUTUS LIETTYMISEEN JA IHMISEN TOI- MINNASTA AIHETUVA REHEVÖITYMINEN SUUREMMISSA TEKOKÄRVISSA

Kuten monivuosisatainen kokemus osoittaa, pienten tekokärvien (lammikkojen) perustaminen notkoihin ja painanteisiin on yksinkertaisin ja käytännössä helpoin tapa hyödyntää paikallinen valunta taloudellisesti. Tällaisten vesistöjen rakentaminen liittyy Neuvostoliitossa maiden pysyvään asutukseen. Lammikkojen rakentamisesta on saatu kokemusta luoteisilta alueilta itään päin. Esimerkkinä mainittakoon, että nykyisen Ukrainan SNT:n alueella lammikkoja rakennettiin jo vanhojen staanilaisten heimojen aikana ja XVI- ja XVII- vuosisatojen kirjallisuudessa on esitetty tarkat määräykset lammikkojen suunnittelusta ja käytöstä kalankasvatukseen. Lammikkojen rakentaminen ennen aikaan tapahtui vaistonvaraisesti: vähävetisenä vuotena enemmän, runsasvetisenä vuotena vähemmän. Eikä silloin noudatettu paikallisen valunnan säännösten pääperiaatetta: vedenjakaja-alueilta pääjoen suulle.

Nämä vesistöt eivät ole menettäneet taloudellista merkitystä tänäkään päivänä, vaan viljelyalueiden kastelu, kalan allaskasvatus ja viljellyt karjanlaitumet pohjautuvat vielä nykyin tällaisten lammikkojen käyttöön. Lammikkoja on rakennettu metsävyöhykkeelle aina kauas itään asti. Lammikkojen lukumäärän ohella on kasvanut myös niiden koko. Sodan jälkeisenä aikana on Moldavian, Ei- mustanmullan alueen keskiosien, Kuibyskevin ja Rostovin alueen sekä Etu-Kaukaasian allas-tilavuus kasvanut yli 2 - 4 kertaiseksi. Samalla on voimistunut myös lammikkojen sopeuttaminen ympäristönsä maisemaan. Tällä hetkellä tapahtuva allasverkoston dynaaminen kehitys edellyttää kaikkien jo rakennettujen sekä rakenteilla olevien lammikkojen jatkuvan seurannan järjestämistä. Neuvostoliitossa arvioidaan olevan n. 130 000 - 150 000 lammikkoa (Milkov, 1978; Vendrov

1979), joista puolet sijaitsee metsäaro- ja aroalueilla ja ne peittävät kaikkiaan 12 % maan pinta-alasta. Neuvostoliitossa on kutakin 1 000 km² kohti 7 vesistöä, yllämainituilla alueilla 25 sekä eräillä alueilla $\geq 40 - 50$. Eräillä Ukrainan SNT:n, Moldavian SNT:n, Rostovin läänin, Krimin ja Etu-Kaukaasian alueilla lammikkoja on niin paljon, ettei niitä sinne voida rakentaa enää enempää. Tästä syystä on osoittautunut välttämättömäksi panna allasverkosto kuntoon. Tällöin altaiden lukumäärää on pienennettävä ja tilavuutta suurennettava ja puhdistettava ne syntyneestä lietteestä. Viimeksi mainittuun toimenpiteeseen liittyy toistaiseksi vähän tutkitu ongelma lammikkojen pohjalietteiden hyötykäytöstä.

Neuvostoliiton allasverkosto on vesitaloudellisesti valtava kokonaisuus, jonka hydrologiaa on tutkittu liian vähän. Nimenomaan tämän takia lammikkojen vesiensuojelullisesta merkityksestä ja vaikutuksesta suurempiin vesistöihin tiedetään varsin vähän. Esimerkiksi lammikkojen vaikutusta kiinteiden aineiden kulkeutumiseen ei ole tutkittu juuri lainkaan. Tutkimustulosten mukaan itäisessä Etu-Kaukaasiassa sijaitsevien pienten jokien Tomuzlovka ($F = 815 \text{ km}^2$) ja Žmavka ($F = 334 \text{ km}^2$), joiden valuma-alueilla on yleensä 102 lammikkoa, veden kiinteiden aineiden määrä on 0,52 ja 0,12 kg/m³ vuodessa, kun se muiden jokien vesissä on 2,0 - 2,5 kg/m³. Vastaavanlaista akkumuloitumisen seurauksena tapahtuvaa kiinteiden aineiden määrän alenemista on havaittu tapahtuvan myös Varonezin läänin Osered-joella, jonka kiinteiden aineiden keskivirtaama on 11 T /km², kun se alueen muilla joilla on 25 - 100 T/km². Näistä esimerkeistä käy ilmi, että lammikot alentavat oleellisesti kiinteiden aineiden kulkeutumista niillä joilla, joiden vesistöalueilla lammikot sijaitsevat ja palvelevat pelloilta huuhtoutuvien eroosiotuotteiden selkeytysaltaina. Lammikkojen vaikutus vesistöjen liettymiseen ja rehevöitymiseen riippuu vesistöjen kyvystä pidättää eroosiotuotteita ja niiden sisältämiä ravinteita.

Tietoja lammikkojen kyvystä pidättää kiinteitä aineita voidaan saada eräistä harvalukuisista vesistöjen sedimenttitasetutkimuksista, joita tämän esitelmän laatija on julkaissut (Prytkova, 1979, 1981). Lammikkojen pohjalietteet muodostuvat lähinnä pääuomasta (R_n) ja joen varrella olevilta rinteiltä (R_g) erosioituvista aineista. Erona suuriin tekojärviin on lammikoihin rinteiltä huuhtoutuvien aineiden määrä suurempi kuin pääuomasta erosioituvan aineksen määrä. Rautaerosio (R_p), elluviaaliset kiinteät ainekset (R_7), biootan tuottama kiinteä aine (R_b) ja kemogeeninen sedimentoituminen (R_{xcn}) ovat lammikkojen liettymisessä toissijaisia. Lammikoista ja tekojärvistä poistuu (R_d) metsäaro- ja arovyöhykkeillä ainoastaan alle 5 % niihin tulleesta kiintoaineksen määrästä ja yli 95 % jää pohjalietteeksi (R_o). Pohjalietemäärän suhde sedimenttitaseen tulo-osaan kuvaa vesistön kiinteän aineksen kokonaispidätyskykyä. Erotukseksi nimitämme vesistön kykyä pidättää ainoastaan eroosiotuotteet kiinteän aineksen osittaispidätyskyvyksi. Viimeksi mainittu voidaan määrittää yhtälöllä

$$\alpha_o = 1 - \frac{R_c}{R_n - R_g} \quad (1)$$

ja kun ympäröivältä valuma-alueelta tuleva rinnehuuhtoutuma on merkityksetön yhtälöllä

$$\alpha = 1 - \frac{R_c}{R_n} \quad (2).$$

Todettakoon, että vesistöstä poistuvan kiinteän aineksen joukossa on virran mukana tulleiden kiinteiden aineiden lisäksi myös autoktoninen aines. Tästä syystä vesistön todellinen kyky pidättää eroosiotuotteita on hieman suurempi kuin kaavoilla (1) ja (2) laskettu pidätyskyky.

Tekojärven kiinteän aineksen kokonais- ja osittaispidätyskykyyn vaikuttavat veden sameus ja vesistön virtaavuus (Prytkova, 1971, 1973, 1981) ja kokonaispidätyskyky on aina osittaispidätyskykyä suurempi. Metsävyöhykkeen lammikot ja

tekojärvet, joiden veden sameuden keskiarvot vaihtelevat välillä 9 - 80 g/m³, pidättävät vesistöön kulkeutuvista eroosiotuotteista 40 - 90 %. Huomautetaan, että Liettuassa (Miljus, 1981) sijaitsevan Kelerishskoe-altaan (tilavuus 188 000 m³) tulokset vuosilta 1977 - 1979 ovat hyvin samansuuntaisia Volgan tekojärvellä (kuva 2) saatujen tulosten kanssa. Ivankovin ja Uglitšin tekojärvien tulokset ovat poikkeuksellisia sen takia, että altaista poistuvassa kiinteän aineksen mukana poistuu myös autoktonista ainesta. Metsäaro- ja arovyöhykkeillä osittaispidätyskyvyn osuus on yli 95 %. Tästä syystä näillä alueilla sijaitsevilla lammikoilla ja tekojärvillä on huomattavasti suurempi vaikutus jokien kiinteiden aineiden kulkeumaan kuin vastaavanlaisilla vesistöillä metsävyöhykkeellä.

Metsäaro- ja arovyöhykkeiden suuresta kiinteiden aineiden pidätyskyvystä johtuen voidaan kiinteiden aineiden purkautuminen alavirtaan jättää huomioimatta liettymistutkimuksissa. Näiden tutkimustulosten avulla tämän esitelmän tekijä on voinut selvittää prosessin eräitä tärkeitä lainmukaisuuksia, jotka on huomioitava kunnostettaessa lammikkoverkostoa ja kehiteltäessä lammikkojen liettymistä kuvaavia laskelmia. Lisäksi näiden tutkimusaineistojen avulla on voitu arvioida SNTL:n altaisiin tulevien eroosiotuotteiden määrä ja akkumuloitumisen aiheuttama veden mukana kulkeutuvan kiinteän aineksen määrän pienentyminen.

Prosessina lietteiden keräytymisprosessi on epästationäärinen.

Liettyminen on voimakkainta ensimmäisten 10 - 20 vuoden aikana, kun tekojärven rannat ja pohja muodostuvat. Rannan muodostusprosessin heiketessä lammikkojen liettymiseen alkavat yhä enemmän vaikuttaa valuma-alueelta tulevat eroosiotuotteet jotka ovat pääasiallisimpana liettymisen aiheuttamina lammikkojen viimeisessä (kolmannessa) kehitysvaiheessa. Liettyneen lammikon allas on valmiiksi muovautunut itse vesistöön kuuluvaksi tilaksi, johon on helppo kerätä vettä. Tällaisten lammikkojen liettyminen, sen jälkeen kun niistä on poistettu sedimentit, tapahtuu hitaammin kuin uudelleen rakennettavissa lammikoissa.

Lammikoiden liettymisprosessi on erilainen eri maantieteellisillä vyöhykkeillä (taulukko 1). Liettyminen on voimakkainta metsäarovyöhykkeellä ja kunkin vyöhykkeen sisällä Venäjän ta-sangon lammikoissa. Lammikoiden liettymistä selittävien ilmen-täjien vaihtelu kuvaa liettymisen suurimpana syynä olevan pienten jokien kiinteän aineksen kulkeutuman maantieteellistä vyöhykettäisyyttä.

Taulukko 1. Tilavuudeltaan alle 500 000 m³ lammikoiden liet-tymistä kuvaavien ilmentäjien keskimääräiset ar-vot eri vyöhykkeille ja niillä sijaitseville alueille

Vyöhyke, alue	Vesis-töjen luku-määrä	F km ²	W _O 10 ³ m ³	T a	Vuosikeskiarvot		
					R _O 10 ³ m ³	R _O /W _O %	R _O /F m ³ /km ²
Metsäaro	94	11.4	138	24	4.11	3.0	360
Venäjän alanko	78	11.9	151	23	4.80	3.2	403
Länsi-Siperia	16	8.53	77.1	24	0.74	1.0	87
Aro	239	18.0	92.0	28	1.34	1.5	74
Venäjän alanko	173	15.4	96.3	28	1.56	1.6	101
Länsi-Siperia	66	24.9	80.4	26	0.78	1.0	31

jossa F - valuma-alueen p-ala, W_O - vesistön tilavuus,
T - käyttöikä, R_O - sedimenttien tilavuus,
R_O/W_O - liettymiseen kuluva tilavuuden osa,
R_O/F - liettymismoduli

Myös valuma-alueen maaperää kuvaavien sedimenttien koostumus vaihtelee vyöhykkeittäin (Prytkova, 1981). Siirryttäessä met-säarovyöhykkeeltä aroille lietteiden orgaanisen aineksen määrä pienenee ja sedimentit tulevat mekaaniselta koostumukseltaan raskaammiksi. Eri vyöhykkeiden välisestä ja vyöhykkeiden si-sällä vaikuttavasta alueellisesta liettymisnopeudesta johtuen on liettymisen laskelmamenetelmiä kehitettäessä otettava huo-mioon se, että vesistöt kuuluvat muodostumistavoiltaan eri-laisiin alueisiin.

Määritämme nyt, miten paljon eroosiotuotteita jää Neuvostoliiton 150 000 tekolammikkoon. Suurimman osan altaista tilavuus on 150 000 - 200 000 m³ ja allastilavuudesta kuluu liettymiseen metsäaro- ja arovyöhykkeillä keskimäärin 3,0 ja 1,5 % (taulukko 1). Otamme keskiarvoksi Neuvostoliiton tekolammikoille 1,5 %, koska SNTL:n jokien liettyneen kiintoaineksen keskiarvovirtaama (22 T/km²) on yhtä suuri kuin arovyöhykkeen joilla. Yllä esitettyjä lähtöarvoja käyttäen voidaan laskea, että Neuvostoliiton tekolammikkoihin pidättyy vuosittain 340 - 450 milj. m³ sedimenttiä muodostavaa ainesta, josta 225 - 300 milj. m³ on eroosiotuotteita. Kun lietteen keskimääräinen tilavuuspaino on 0,8 T/m³, niin lammikkojen vuosittain pidättämä eroosiotuotemäärä on 180 - 240 milj. T, mikä vastaa 34 - 35 % SNTL:n jokien vuosittain kuljettamasta kiinteän aineksen määrästä. Huomattakoon, että vuosittain pieniin tekolammikkoihin jäävä kiintoainemäärä on yhtä suuri kuin suurten tekojärvien pidättämä kiintoainemäärä, (Vendrov, 1980), vaikka pienten lammikkojen kokonaistilavuus on pienempi kuin yhden ainoan Kuibyskevin tekojärven tilavuus.

Eroosiotuotteiden mukana lammikkoihin joutuu ympäröiviltä alueilta myös ravinteita, mm. fosforia. Kyntökerroksen kokonais P₂O₅ -pitoisuus on Neuvostoliitossa yleensä 0,1 - 0,2 %. Yllä mainitussa eroosiotuotemäärässä on täten vähintään 0,27 - 0,35 milj. T P₂O₅:ttä. Eroosiotuotteiden sisältämä kokonaisfosforimäärä on jonkin verran suurempi kuin maan pintakerroksessa, koska maaperästä huuhtoutuu mekaaniselta koostumukseltaan raskaampia maapartikkeleita. Tätä vahvistavat tiedot, joita on saatu lammikkojen pohjasedimenttien ja valuma-alueen maan pintakerroksen fosforipitoisuuksista (taulukko 2). Tämän vuoksi tekolammikkojen vuosittain eroosiotuotteissa pidättämän fosforin kokonaispitoisuus on vähintään 0,5 milj. T (tai 14 % lannoitteiden sisältämästä fosforimäärästä). Tiedot lammikkojen pohjasedimenttien kemiallisesta koostumuksesta puuttuvat lähes kokonaan, mutta ne ovat välttämättömiä arvioitaessa lammikkolietteen lannoitearvoa. Pidätettäessään eroosiotuotteita ja ravinteita lammikoilla on huo-

mattava vesiensuojelullinen merkitys, koska ne suojelevat suurempia vesistöjä liettymiseltä ja ihmisen toiminnan aiheuttamalta rehevöitymiseltä.

Lammikoiden eroosiotuotteiden pidättämisen aiheuttama jokien kiinteiden aineiden kulkeutuman pieneneminen voidaan laskea kaavalla

$$K_R = 1 - \frac{M_R}{M_{R,e}} \quad (3),$$

jossa M_R - joen kuljettaman kiinteän aineksen mitatun määrän vuosikeskiarvo, T/km^2 ,

$M_{R,e}$ - joen kuljettaman kiinteän aineksen luonnollisen määrän vuosikeskiarvo T/km^2 .

Taulukko 2. Karakubanin vesistöalueen (Krasnodarin alue) lammikkojen pohjasedimenttien ja maannosmaan kemiallinen koostumus.

Ilmentäjä	Maannos- maa	Sedimentit
ph-luku	8,2	7,9 - 8,2
Karbonaatteja ($CaCO_3$), %	2,5	6,1 - 13,2
Kuivajäännös, mg/100 g	120	683 - 1390
Ca, mg-ekv./100 g	34	18 - 30
Mg	12	20 - 27
Na	ei ole	7 - 16
Humus, %	4	3 - 6
Liukeneva fosfori, mg/100 g	2	2 - 5
Vaihtuva kalium, mg/100 g	26	59 - 159

Joen kuljettama luonnollinen kiinteän aineksen määrä on se eroosiotuotteiden osa, joka kuljettuisi mittauslinjalle, ellei lammikkoja olisi. Viimeksi mainittu voidaan kirjallisuustietojen mukaan laskea olevan 10 % lammikkoon tulevan eroosiotuotteiden määrästä, mikä vastaa keskialueen jokiin tulevaa

rinnehuuhtoutumaa (Lopalin, 1952). Jos valuma-alueella (tai alueella yleensä) on tutkittu osa K n-kappaleesta olemassa olevia lammikkoja, niin lammikkojen pidättämän kiintoainevirtaaman vuotuinen keskiarvo on

$$M_{R, ak} = \frac{\sum_{i=1}^k R_i}{\sum_{i=1}^k F_i} \quad (4),$$

jossa $M_{R, ak}$ = lammikkojen pidättämän kiinteän aineksen vuosikeskivaluma, T/km²,

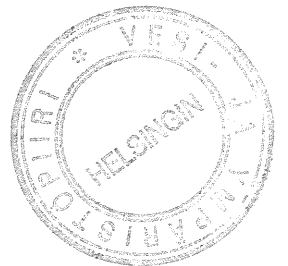
R_i = kiinteän aineksen määrä i:n lammikon patolinjalla, mikä lasketaan sedimenttimäärän ja rantaeroosiotuotemäärän erotuksesta, T

F_i = i:n tekolammikon valuma-alueen pinta-ala, km².

Lammikkoihin akkumuloitumisen seurauksena kulkeutuvan kiinteän aineksen määrän pieneneminen on laskelmien mukaan eräillä metsäarovyöhykkeillä 3 - 78 % (keskimäärin 38 %) luonnollisesta kiinteän aineksen määrästä, arovyöhykkeellä 5 - 50 % (keskimäärin 21 %) ja Uralin ja Etu-kaukaasian vuoristoalueilla 13 - 35 %. Vielä enemmän lammikot pienentävät kulkeutuvien kiinteiden aineiden määrää pienissä vesistöissä. Vaikkakin laskelmat ovat kaikenkaikkiaan vain suuntaa-antavia, ei voida olla toteamatta, että lammikoilla on varsin tärkeä osa pelloilta tulevien eroosiotuotteiden pidättämisessä ja samalla muiden vesistöjen suojelemisessa liettymiseltä.

KIRJALLISUUS

- Vendrov, S.L. Suurten tekojärvien eksogeeniset prosessit. Teoksessa Pinnanmuodostuksen nykyiset eksogeeniset prosessit. M., 1970, s. 103 - 111.
- Vendrov, S.L. Jokivesistöjen muutosten ongelmat. - L.: GIMIZ, 1979, s. 207.
- Lopatin, G.V. SNTL:n jokien kiinteiden aineiden virtaama. - M.: Geografiz, 1952, s. 366.
- Milkov, F.N. Rukotvornye maisemat. M.: Mysl, 1978, s. 86.
- Prytkova, M.J. "Voltši Vorota" - tekojärven sedimenttitase. - Teoksessa "Voltši Vorota" - tekojärven ja sen valuma-alueella sijaitsevan allasketjun liettyminen. L., 1971, s. 183 - 192.
- Prytkova, M.J. Otkaznenskin tekojärven vesi- ja sedimenttitase. - Teoksessa "Otkaznenskin" tekojärvi. L., 1973, s. 104 - 136.
- Prytkova, M.J. SNTL:n metsäaro- ja arovyöhykkeiden pienet tekojärvet. - L.: Nauha, 1979, s. 172.
- Prytkova, M.J. Lietteen keräytyminen pieniin tekojärviin. Tasetutkimukset. - L.: Nauha, 1981, s. 152.



A. I. Denisova
 E. P. Nahshina
 A. K. Rjabov
 Ukrainan SNT:n
 hydrologian laitos

Maanparannus- ja vesi-
 taloussymposio
 Tbilisi 19.11.1987

DNEPRIN TEKOJÄRVIENTILA JA VEDEN LAATU IHMISEN
 TOIMINNAN VAIKUTUKSEN ALAISISSA OLOSUHTEISSA SEKÄ
 SEN PARANTAMISMAHDOLLISUUDET.

Vesirakennus on maassamme varsin laajaa. Jo 30-luvulla Volhovskajan vesivoimalaitoksen käyttöönotolla alkanut jokiverkoston muuttuminen jatkuu yhä kasvavalla vauhdilla. Maan suurimpiin jokiin on luotu tai luodaan voimalaitosketjuja. Dneprin voimalaitosketjun ensimmäinen tekojärvi - Zaporozkoe - rakennettiin v. 1934 ja kunnostettiin v. 1947. Tällä hetkellä järjestelmässä on kuusi tekojärveä, joiden tilavuudet ovat $2,45 \text{ km}^3$:n (Dneprodžepžinskoe) ja $18,2 \text{ km}^3$:n (Kahovskoe) välillä ja jotka ovat morfometrialtaan, hydrologialtaan ja sijainniltaan ketjussa ihmisen toiminnan aiheuttaman vaikutusasteen suhteen erilaisia.

Yhteistä näille kaikille tekojärville on se, että niiden vesikemiallinen tila eroaa (joskus hyvin huomattavastikin) luonnonvesien (jokivesien) kemiallisesta tilasta. Tekojärviin on muodostunut fysikaalis-kemiallisilta ominaisuuksiltaan ja laadultaan uudenlaista vettä. Samoin ovat oleellisesti muuttuneet vesistön tilaa säätelevät tekijät ja prosessit. Tekojärvien vesikemiallinen tila ja veden laatu muuttuvat altaan vakiintumisen ja sitä seuraavan vanhentumisen myötä.

Vaikka tekojärvien perustaminen turvaakin valunnan uudelleen jakautumisesta aiheutuvan vesivarojen kokonaisvaltaisen ja järkipärasein käyttön, sillä on myös haittavaikutuksia, jotka liittyvät vesikemiallisen ja hydrobiologisen tilan sekä veden laadun muutoksiin. Tämä pakottaa meidät tutkimaan perusteellisesti tekojärviä niiden yhä enenevästi rehevöityessä, selvittämään altaiden käyttöön liittyvät veden laadun huononemisen perussyt sekä kehittämään tieteellisesti perusteltuja suosituksia rehevöitymisen kasvuvauhdin ehkäisemiseksi ja vesistöjen hygienisen tilan parantamiseksi.

Pääasiallisina vedenhankintavesistöinä käytettävien Dneprin ja sen tekojärvien järkipерäinen ja kokonaisvaltainen käyttö ja niiden vesivarojen suojeleu ovat kansantaloudellisesti erittäin suurimerkityksellisiä. Dneprin tekojärvet sijaitsevat tiheään asutuilla alueilla, joilla harjoitetaan voimaperäistä maataloutta ja teollisuustoimintaa ja jotka ovat ihmisen yhä voimistuvan vaikutuksen alaisina.

Vesikemialliset tutkimukset Dneprin tekojärvillä ovat yleensä alkaneet jo ennen säännöstelyn aloittamista tulevan altaan paikalla ja niitä on säännöllisesti jatkettu altaan kaikissa kehitysvaiheissa. Tutkimusten avulla on pystytty määrittämään tärkeimmät liuenneiden kaasujen, suolojen, ravinteiden, orgaanisen aineksen ja hivenaineiden pitoisuuksien ja trendien lainmukaisuudet sekä selvittämään veden laadun muodostumisen erityispiirteet.

Tilan vakiintumisen pääasialliset erityispiirteet. Tekojärven vakiintumisen aikana tärkeimpänä altaan tilaan vaikuttavana tekijänä on vesitettävän alueen pohjamaa sekä pohjan ja veden rajakerroksessa tapahtuvat prosessit. Tänä aikana tekojärveen tulee kaikkia liikkuvassa muodossa olevia yhdisteitä. Eniten orgaanista ainesta ja ravinteita tulee veteen veden alle jääviltä niitty- ja metsämailta sekä turpeesta, vähiten hiekasta ja savesta.

Seuraava tärkeä tutkimusvaihe tekojärvissä vakiintumisen aikana on kausi, jolloin pohjan ja veden rajapinnassa tapahtuvat prosessit ovat aktiivisimmillaan ja jolloin lietteen sisältämät aineet siirtyvät veteen. Kerääntyneiden aineiden siirtymis- ja jakautumisnopeus koko vesikerroksessa riippuu vesistön syvyydestä ja veden sekoittumisesta. Mikäli vesi ei sekoitu, saattavat pohjan maaperästä ja veden alle jääneistä kasveista erottuvat ravinteet, orgaaninen aine, mangaani ja rauta akkumuloitua alusveteen ja alentaa pH-lukua sekä happipitoisuutta ja aiheuttaa anaerobisten alueiden muodostumista.

Tämän vuoksi tekojärvissä on ensimmäisinä vuosina perustamisen jälkeen kaikkialla havaittu hapen puutetta, mikä alentaa niiden itsepuhdistuskykyä. Prosessit saattavat kestää huomattavia aikoja (enimmillään 6-7 vuotta).

Tänä samana aikana erilaisia aineita joutuu veteen liukenemisen ohella myös maaperän ja kasvien mikrobiologisen hajoamisen tuloksena. Sen vuoksi on vaikea sanoa mitkä näistä prosesseista ovat dominoivia veden laadun muodostumisessa. Ravinteiden, orgaanisten aineiden ja eräiden raskasmetallien pääseminen vesistöön veden alle jääneestä maasta saattaa johtaa epätyydyttävään veden laatuun useiden eri ilmentäjien suhteen, mikä vedenkäyttäjien on syytä erityisesti huomioida.

Vuonna 1982 samanaikaisesti kolmella Dneprin tekojärvellä tehdyt havainnot ja sen perusteella kullekin altaalle laadittu ainetaseraportti osoitti, että nuorimmassa, suhtellisen äskettäin rakennetussa Kanevskoen tekojärvessä vedenlaatu oli useiden ilmentäjien suhteen selvästi huonompi kuin tekojärvissä, joiden tila oli vakiintunut. Tästä voidaan todeta, että pohjan valmistelu ennen altaan täyttöö vedellä on tehtävä äärimmäisen huolellisesti ja poistettava mahdollisimman tarkkaan kaikki veden laatua huonontavien aineiden lähteet.

Tekojärven tilan määrittävät tekijät. Vakiintumisvaiheen aikana tekojärven tilaa säätelevät monet tekijät, jotka voidaan jakaa ulkoisiin ja vesistön sisäisiin.

Ensimmäiseen ryhmään kuuluvat pintavedet, ihmistoiminnan vaikutus ja sateet. Valuma-alueelta tulevat vedet määräävät varsin huomattavasti tekojärven luonnetta ja ovat voimakkaan maaperäisen maatalouden ja teollisuusalueilla eräs eutrofitumisen syistä.

Tekojärviketjussa pintaavaluman merkitys on oleellisempi ketjun pääaltaassa ja muissa vain silloin kun niihin tulee sivujokia, joiden valuma-alueet ovat suuria. Pienten sivujokien vaikutus ilmenee tavallisesti paikallisena.

Alapuolisten tekojävien tilaan vaikuttaa oleellisesti yläpuolisesta altaasta tuleva vesi. Dneprin allasketjussa vain Kievin tekojärven kemiallinen tila muodostuu Dneprin ja Pripjatar-joen vesien vaikutuksesta. Sen jälkeen sijaitsevan Kanereskoen altaan tilaan vaikuttaa oleellisesti Desna-joki. Muiden neljän tekojärven kemialliseen tilaan pintavalunnan merkitys on vähäinen. Vaikutus saattaa kuitenkin olla havaittavissa täytön jälkeen pienten jokien suualueille muodostuneissa lahdissa, joihin kerääntyy valuma-alueelta tulevia vesiä aiheuttaen ravinteiden ja orgaanisen aineksen pitoisuuksien kohoamista sekä usein hapettomia alueita. On myös mahdollista, että lahtiin kerääntyy teollisuus- ja maatalousjätevesien sisältämiä aineita. Tällaisilla alueilla pohjallietteisiin akkumuloituu raskasmetalleja, joista osa on toksisia.

Ihmistoiminnan vaikutus eli antropogeeninen tekijä alkaa tuntua heti säännöstelyprosessin alussa, koska säännöstely on ihmisen aktiivisinta sekaantumista luonnon prosesseihin ja johtaa luonnonperäisen vesistön ulkoisen muodon ja sisäisen luonteen oleellisiin muutoksiin. Tämä ei kuitenkaan ole ihmisen toiminnan ainoa vaikutus. Teollisuus, maatalous, ojitus, kastelu, pohja-aineiden otto ym. vaikuttavat (usein varsin merkittävästikin) vesistöjen tilaan. Esimerkkinä voidaan mainita eräisiin tasankoalueiden jokiin rakennettujen tekojävien sinivierherlevien kukinta, jonka aiheuttavat sekä säännöstely että eutrofituminen. Eräs rehevöitymisen päätekijä on maatalouden vesistöihin purkamiset vedet, joiden mukana vesiin tulee enimmillään 50% vesistöihin tulevasta ravinnemäärästä.

Puhdistamattomien teollisuus- ja asumajätevesien mukana tekojärviin tulee valtavia määriä erilaisia kemiallisia aineita, jotka voivat oleellisesti vaikuttaa tekojävien kemialliseen ja hydrobiologiseen tilaan.

Dneprin valuma-alueella tekojärviin tulevat ravinnemäärät ovat paljon suuremmat kuin luonnonvesien mukana tulevat. Esimerkiksi 70-luvun alussa tyyppiä tuli 200 000 t, fosforia 13 000 t ja kaliumia 80 000 t. Kahovskoen vesivoimalaitoksen

kohdalla typpeä kulki keskimäärin 100 000 t/a ja fosforia 5 000 t/a.

Lukuisista toimenpiteistä, joita on esitelty valuma-alueelta tulevan ravinnekuorman pienentämiseksi, pidämme parhaimpina lannoitenormien uudelleenharkintaa ja käytettävien väki- ja orgaanisten lannoitteiden määrän ja tyyppin järkiperaistä kombinoimista sekä rannoille perustettavia suojavyöhykkeitä.

Sadevesien osuus tekojärvien kemiallisen tilan muodostuksessa on suhteellisen vähäinen (≤ 2 % kokonaistaseesta).

Lukuisista vesistön sisällä tapahtuvista prosesseista tekojärven tilaan vaikuttavat mm. sedimentoituminen, sorptio-desorptioprosessit, tuotanto- ja hajoamistoiminnat sekä hapetus-pelkistysprosessit. Nimenomaan yllämainitut prosessit vaikuttavat tekojärvien itsepuhdistuskykyyn ja sekundääriseen likaantumisen mahdollisuuteen. Kaikki nämä prosessit ovat tosin keskenään niin vuorovaikutteisia, että on usein vaikea sanoa mikä niistä on syy ja mikä seuraus.

Virtausnopeuden pienentyessä tekojärvessä tapahtuva sedimentoituminen johtaa alloktonisen ja autoktonisen kiintoaineen laskeutumiseen. Tällöin voi laskeutua myös muita aineita (esimerkiksi orgaanisia aineita ja raskasmetalleja saven sekä rauta- ja mangaanihydroksidin kanssa), jotka keräytyvät pohjalietteeseen. Näihin ovat kiinteässä yhteydessä sorptioprosessit, koska kiintoaine (sekä epäorgaaninen että orgaaninen) pystyy sitomaan suurimman osan kemiallisista aineista.

Kiinteän aineen sorptio säätelee myös eräiden liuenneiden aineiden poistumista vesifaasista sedimentteihin. Erityisen merkityksellinen tämä prosessi on raskasmetallipitoisuuksille.

Tekojärven pohjalietteet muodostuvat kemiallisen tilan vakiintuessa veden alle jääneiden maiden transformoitumisen sekä kiintoaineen ja detrituksen sedimentoitumisen seurauksena.

Veden kemiallisen tilan muodostuksessa pohjalietteiden merkitys on kahdenlainen. Toisaalta ne useiden eri aineiden (raskasmetallit, eräät epäorgaaniset ja orgaaniset aineet) kerääjinä edesauttavat vesimassojen itsepuhdistusta. Pohjalietteiden itsepuhdistusteho riippuu niiden laadusta (dispergoituneisuus, orgaanisen aineksen sekä rauta- ja mangaanioksidien määrä) ja kemiallisesta tilasta sedimentin ja veden rajakerroksessa. Toisaalta, koska niihin on akkumuloituneina suuria määriä lähes kaikkia kemiallisia aineita, ne voivat olla vesistön sekundaarisen likaantumisen aiheuttajia.

Selvimmän pohjalietteiden osuus tekojärven itsepuhdistusprosessissa ilmenee raskasmetallien suhteen. Itsepuhdistusprosessia säätelevät lähinnä dispergoituneisuusaste ja orgaanisen aineksen pitoisuus. Metallien ja pohjalietteen välinen yhteys on suhteellisen pysyvä. Metallit mobilisoituvat takaisin veteen vain määrättyissä olosuhteissa. Tästä syystä Dneprin tekojärvien sedimenteissä on akkumuloituneina suuria raskasmetallimääriä (taulukko 1).

Ravinteet rikastuvat pohjalietteeeseen vain silloin, kun niiden pitoisuudet vedessä ovat korkeita: ammoniumtyppi > 20 mgN/l, fosfaattifosfori > 0,5 mgP/l ja nitraattityppi 1,5 mgN/l. Pohjalietteistä takaisin veteen mobilisoituvat helpoiten ravinteet ja metalleista mangaani. Mobilisoitumisen kannalta tärkeitä tekijöitä ovat olosuhteet pohjan ja veden rajakerroksessa sekä sedimenttien paksuus.

Kasviplankton. Toisin kuin joessa, siihen rakennetussa tekojärvessä kehittyy jo ensimmäisenä vuonna veden kemiallisen tilan muuttuessa edullisissa olosuhteissa runsaasti leviä, jotka tuottavat runsaasti orgaanista ainesta ja ravinteita. Näiden aineiden erottumista veteen saattaa tapahtua kasviplanktonin elintoiminnan aikana, mutta vielä enemmän sitä tapahtuu sen hajotessa. Esimerkkinä mainittakoon, että vuonna 1972 Krementšugskoen tekojärvessä havaittiin kasviplanktonin tuottavan elintoiminnan aikana enintään 10 % orgaanisen aineksen kokonaismäärästä ja hajotessaan 23 - 56 %. Kasviplanktonin hajotessa veteen joutuu huomattavia määriä mangaania, sinkkiä ja kuparia.

Kasviplanktoniin rikastuu fotosynteesiprosessin yhteydessä typpeä, fosforia, rautaa ja hivenaineita. Pysyvät ympärivuotiset tutkimukset Dneprin tekojärvissä osoittivat, että kasviplanktonin biomassan ja tuotannon sekä NH^+ - ja PO_4^{3-} - sekä mangaani-, rauta- ja sinkkiyhdisteiden pitoisuuksien välillä on selvä antibaattinen riippuvuussuhde. Havaittiin myös selvä riippuvuussuhde planktonin lajikoostumuksen ja mangaanipitoisuuksien välillä: piileväplanktonin muuttuessa siniviherleviksi tapahtuu vedessä jyrkkä mangaanipitoisuuksien lasku.

Siten tuotanto- ja hajontaprosessit säätelevät hyvin huomattavalla tavalla ravinteiden ja orgaanisen aineksen dynamiikkaa. Hivenaineiden suhteen niiden merkitys on huomattavasti parempi kuin pohjalietteiden vaikutus.

Vuonna 1976 normaaliin käyttökorkeuteensa täytetty Kanevskoen tekojärvi on Dneprin ketjun viimeinen. Tällä hetkellä kaikkien muiden altaiden vakiintumiskausi on ohi ja ne muodostavat tasaantuneen järjestelmän määrättyine ominaisuuksineen. Yllämainitut prosessit (ulkoiset ja vesistöjen sisäiset) ovat johtaneet siihen, että pääravinteiden (fosfori ja typpi) pitoisuudet ovat altaiden käyttökauden aikana kohonneet (taulukko 2). Viimeisten 15-20 vuoden aikana ovat tekojärvien veden sisältämien kaikkien epäorgaanisten tyyppiyhdisteiden pitoisuudet kohonneet. Erityisesti ovat nousseet ammoniumtyypin pitoisuudet ja joinakin vuosina nitraattityppi. Jokiveteen verrattuna myös tekojärvien veden epäorgaanisen fosforin pitoisuudet nousseet. Vuoteen 1985 mennessä havaittiin määrättyä tilan stabiloitumista.

Päinvastoin kuin joissa, tekojärvissä havaittiin hiilen, typen ja fosforin orgaanisten muotojen keskipitoisuuksien kohoamista. Myös orgaanisen aineksen pitoisuuksien vaihtelu ajan funktiona suureni huomattavasti. Verrattuna vuosien 1973-1978 tilanteeseen on orgaanisen fosforin pitoisuus viimeisten vuosien aikana noussut 1,5 kertaiseksi.

"Vesi-kiintoaines-pohjalietteet"-järjestelmä säätelee raskasmetallipitoisuuksia Dneprin tekoaltaiden vedessä, minkä seurauksena

raskasmetallipitoisuudet ajan funktiona ovat suhteellisen vakioita. Kuitenkin heti säännöstelyn alettua, alkoi myös kaikkien raskasmetallien keräytyminen pohjalietteisiin ja raskasmetalleista on tullut sekundäärisen likaantumisen potentiaalinen vaara, ja niillä voi olla vaikutuksensa veden laatuun ja elämään. Rehevöityminen ja muuttuva kemiallinen tila saattavat aiheuttaa metallien mobilisoitumisen pohjalietteistä takaisin veteen.

Siten tärkeimpiä tekijöitä tekojärvien veden kemiallisen tilan ja laadun muodostumisessa ovat: veden alle jäänyt alue (ensimmäisinä vuosina) ja pohjalietteet, valuma-alueelta (varsinkin viljellyiltä alueilta) tulevat pintavedet, puhdistamattomat jätevedet.

Sen vuoksi toimenpiteet tulee suunnata ensisijaisesti typpi- ja fosforikuormituksen pienentämiseen. Yllämainittujen toimenpiteiden (pohjan kunnostus, maanviljelytekniikan ja lannoitemäärien uudelleenarvioiminen) lisäksi veden laadun parantamista edesauttaa orgaanista ainesta sisältävien teollisuus- ja asumajätevesien puhdistaminen, pohjalietteen poistamiseen siellä, missä se on paksuna kerroksena sekä keinotekoinen ilmastus seisovan veden alueilla huonon happitilanteen aikana (pitkään kestävä jääpeite).

Taulukko 1. Dneprin tekojärvien pohjalietteiden mangaani-, sinkki- ja kuparimäärät

Ilmentäjä	Kievskoe		Krementsugškoe	
Vallitseva pitoisuus vuoden aikana mg/l	0,08	0,01	0,02	0,01
Määrä vedessä, T	300	40	270	100
Maksimipitoisuus vedessä, mg/l	0,50	0,04	0,30	0,03
Määrät vedessä, T	1 900	150	4100	400
Keskipitoisuus lietteessä, mg/kg	1086	64	700	32
Määrä lietteessä, T	12300	700	1800	800
Lietteessä ja vedessä olevien määrien suhde vallitsevilla pitoisuuksilla	41	17	60	8
Sama maksimipitoisuuksilla	6	4	4,5	2
				1,3

118

Huomautus: 1. Kievskoen ja Krementsugskoen tekojärvien tilavuudet 3,73 ja 13,5 km³
 2. Lietettä (kun kerroksen paksuus on 0,05 m) näissä altaissa on
 $2,35 \cdot 10^6$ ja $81,8 \cdot 10^6$ m³.

Dneprin tekojärvien ravinteiden ja orgaanisen aineksen pitoisuuksien keskimääräiset vuosittaisvaihtelut

Tutkimus- vuosi	N _{org} mgN/l	NH ₄ ⁺ mgN/l	NO ₂ ⁻ mgN/l	NO ₃ ⁻ mgN/l	P _{org} mgP/l	P _{min} mgP/l	C _{org} mg/l	Fe mg/l
Kievskoen tekojärvi								
1968	-	0,88	0,011	0,25	-	0,017	-	0,13
1978	1,08	0,78	0,026	0,20	0,054	0,027	12,7	0,19
1981	0,61	0,78	0,008	0,31	0,071	0,063	13,5	0,09
1982	0,83	0,79	0,019	0,63	0,136	0,029	14,5	0,22
1985	-	0,88	0,015	0,20	-	0,021	-	0,10
Krementšugskoen tekojärvi								
1968	-	0,75	0,011	0,25	-	0,043	-	0,08
1978	0,96	0,64	0,017	0,16	0,039	0,043	10,5	0,12
1981	1,22	0,76	0,009	0,22	0,110	0,104	11,8	0,04
1982	0,96	0,64	0,022	0,64	0,106	0,048	12,9	0,08
1985	-	0,65	0,016	0,41	-	0,077	-	0,05
Kahovskoen tekojärvi								
1968	-	0,65	0,011	0,21	-	0,031	-	0,04
1978	1,38	0,67	0,109	0,16	0,048	0,053	8,3	0,10
1981	1,77	0,85	0,024	0,25	0,075	0,071	9,6	0,06
1985	-	0,61	0,019	0,40	-	0,098	-	0,04

Simo Muotiala, yli-insinööri
 Jaakko Henttonen, diplomi-insinööri
 Vesi- ja ympäristöhallitus

Maa- ja vesitaloussymposiumi
 Tbilisi 19.11.1986

TEKOALTAIDEN POHJAN RAIVAUKSEN TARVE, MENETELMÄT JA SAADUT KOKEMUKSET SUOMESSA

Suuri osa Suomea on järvirikasta aluetta, jossa järvipinta-ala on yli 15 % koko valuma-alueesta. Sen sijaan rannikkoalueilla sekä Pohjois-Suomessa on melko järveltömiä jokivesistöjä, joissa vesivaihtelut ovat merkittävän suuria. Alivirtaamat ovat 5-10 % keskivirtaamasta, kun taas suurimmat virtaamat ovat 10 - 20 kertaa keskivirtaamaan verrattuna. Edelleen maassa on kuntia, joiden alueella ei ole lainkaan järviä.

Tekoaltain sijoittamiseen vaikuttavat tekijät

Järvivesistöt säännöstelevät jo luontaisesti virtaamansa, mutta jokivesistöissä on virtaamia säännösteltävä tarkoituksenmukaista käyttöä silmällä pitäen. Niinpä suunniteltaessa järveltömiä vesistöjen järjestelytoimia on havaittu välttämättömäksi rakentaa tekojärviä paitsi virtaamien tasaamiseksi myös maisema- ja virkistysjärviksi. Suurimmat tekojärvet on rakennettu voimataloutta varten, mutta lukumääräisesti eniten järviä on kuitenkin tehty mm. tulvasuojelua silmällä pitäen. Esimerkiksi Pohjanmaalla parhaimmat peltoalueet sijoittuvat jokivarsille ja ranta-asutus seuraa jokitormiä. Tästä syystä ja osittain myös geoteknillisistä ja maisemallisista syistä ei ole ollut mahdollista suorittaa jokivesistöissä riittävän suuria perkauksia ja täten päädytty 1960-luvun jälkeen tekojärvien rakentamiseen. Tosin Suomessa on muutamia jopa 200 vuotta vanhoja tekojärviä myllylampina tai rautaruukkien yhteydessä tehtynä silloin kun raudan valmistuksessa tarvittiin vielä puuhiiltä. Nämä vanhat tekojärvet ovat mukautuneet luontaisten järvien kaltaisiksi ja ne on normaali-järvistä erotettavissa vain teknillisten rakenteiden perusteella.

Uusista tekojärivistä saadut kokemukset ovat siten järvien ekosysteemiä ja muotoutumista silmällä pitäen lyhytaikaisia. Käytännössä on kuitenkin todettu tekojärville syntyvän runsaan kalakannan ja edelleen niille on tullut muutakin virkistyskäyttöä kuin kalastus. Esimerkiksi Suomen suurimmilla tekojärville Lokka ja Porttipahta (yhteensä noin 630 km²), on jopa laivamatkailua, merkitty venereitejä ja rakennettu satamia ja lomailukeskuksia. Tulvasuojelua varten mitoitetaan tekojärvet siten, että jokaista 10 km² valuma-alueetta kohti olisi järvestä tilaa

noin 1,0 - 1,5 milj. m³, jolloin normaalivuosina koko kevätvalunta pystytään pidentämään järveen.

Tekojärvet lukuun ottamatta virkistyskäyttäjärviä on pyritty sijoittamaan syrjäisille ja toisarvoisille alueille jotka ovat useimmiten soita. Vain muutaman tekojärven yhteydessä on jouduttu veden noston johdosta siirtämään asuttuja taloja sekä vesittämään peltoja.

Suomen lain mukaan vettä ei saa nostaa tekojärviin sen paremmin kuin järvien rannoillekaan ellei hakijan hallussa ole joko omistuksen tai sopimuksen perusteella yli puolet veden tai rakenteiden alle jäävästä alueesta. Tästä syystä yleensä kaikki tekojärvien alle jäävät asunnot, pellot ja arvokkaammat alueet on etukäteen sovittu ja näitten sopimusten perusteella on joskus sitouduttu mm. määrättyjä rantoja kunnostamaan.

Raivauksen tarve ja menetelmät

Aluksi tekojärvien raivauksiin ei kiinnitetty riittävästi huomiota jopa eräissä pohjoisen tekojärvistä raivattiin ainoastaan pois arvopuusto, koska pienpuuston raivaus olisi lisännyt merkittävästi kustannuksia. Sen sijaan kaikissa viimeaikaisissa eli viimeisen 15 vuoden aikana tehdyissä järvissä on puusto tarkoin raivattu. On myös jouduttu raivaamaan vanhoja tekoaltaiden rantoja. Tähän on syynä ensisijaisesti se, että tekojärvien käyttö virkistykseen on jatkuvasti laajentunut.

Edelleen hakkuissa on sovellettu ns. kokopuuhakkuuta, jossa puut on nostettu kokonaisina monitoimikoneisiin karsittavaksi ja sen jälkeen oksat haketettu. Hakkeesta on osa voitu käyttää selluloosan valmistukseen ja loppu poltettu kuorien mukana tehtaiden lämpökeskuksissa. Pienien alueiden raivauksessa oksat on poltettu, mikä tosin on suhteellisen kallis toimenpide.

Miltei kaikkien suurimpien Suomen vesistöjen suulla on paperitehtaita ja eräät tehtaat on tekojärvien rakentamisvaiheessa valittaneet siitä, että raivausjätettä poltettaessa saattaa veteen tulla ensiluokkaisen paperin valmistusta häiritsevää nokea. Tällaista haittaa ei kuitenkaan käytännössä ole voitu osoittaa ja toisaalta laajasuuntaisia tekojärvipohjan kulottamisia on yritetty välttää.

On todettu, että pajukkojen raivaukseen ei saisi ryhtyä liian aikaisessa vaiheessa ennen veden nostoa, koska jo raivausta seuraavana vuonna pajut saattavat kasvattaa vesoja varsin runsaasti. Eräs keino pajujen hävittämiseen on juurimyrkyjen käyttö raivauksen yhteydessä. Kivennäismetsämailla riittää yleensä tehokas puuston poisto ja ns. virkistyskäyttäjärvillä kannattaa järven alle jääviltä pel-

loilta kerätä myöskin ruokamulta ja tulevilta uimarannoilta raivata luonnollisesti myöskin kannokko. Kalastuksen kannalta on pienenkin puun poistaminen tarpeen. Eräillä järvillä on tyydytty vain ns. nuottauspaikkojen raivaamiseen. Raivaamattomilla alueilla on todettu kalojen erittäin hyvin viihtyvän.

Tekojärvien rakentaminen turvemaille, mikä Suomessa on ollut yleistä, on tuloksiltaan paljon yllätyksellisempi. Osa tekojärven alle jäävistä turpeista tulee nousemaan pintaan jopa pysyvästikin. Jos tekojärven alle jää lampia tai entisiä lampia, jotka ovat umpeutuneet kasvattamalla ns. pintamyötäisiä turvelauttoja, nämä lautat tulevat joka tapauksessa nousemaan pinnalle. Tällaiset turvealueet olisi painotettava ennakkoon riippuen lautan paksuudesta noin 7-12 cm:n paksuisella sorapatjalla tai osittain nauhamaisesti sijoitetulle kivennäismaalle. Täyttömaassa tulee olla sen verran rakoja, että turpeessa hajoittajaorganismien toiminnasta muodostuva suokaasu pääsee purkautumaan ulos. On todettu, että suurin turpeen kohoamisriski on silloin kun veden lämpötila on korkea ja vedenpinta alhaalla ja toisaalta on todettu että kaasu liukenee parhaiten kylmään veteen.

Raivaustarpeen osalta voidaan tiivistetysti todeta, että mitä runsaampi käyttö on odotettavissa tekojärvelle sitä huolellisemmin raivaus tulee toteuttaa.

Kantojen poistoon sovellettu menetelmä

Esimerkkinä altaan pohjan raivauksesta sen jälkeen kun vedenpinta on jo nostettu, käsitellään seuraavassa Kiantajärven voimakkaasti säännösteltyltä järveltä käytännössä saatuja kokemuksia.

Kiantajärvi sijaitsee Suomussalmen kunnassa Kainuussa ja järven pinta-ala on säännöstelyn ylärajalla 210 km² ja alarajalla 145 km². Säännöstelyväli on 4,0 m. Koska säännöstelyn yläraja ylittää korkeimman havaitun luonnontilaisen vedenkorkeuden ja alaraja taas alittaa noin 1,5 m luonnontilaisen alivedenkorkeuden, ongelmat Kiantajärven rannoilla vastaavat tekojärvien rakentamisessa kohdattuja.

Säännöstely on aloitettu vuonna 1964, jota ennen valmistelevana toimenpiteenä puusto ja pensaikko raivattiin säännöstelyvyöhykkeeltä pois, mutta kannot jätettiin paikoilleen. Koska vedenkorkeus pidetään kesäkuukausina lähellä ylärajaa, sijoittuu kannokko juuri kesänaikaiseen veden vaihteluvyöhykkeeseen. Tämä aiheuttaa huomattavaa haittaa mm. veneilylle ja kalastukselle. Lisävaikuttimena raivaukseen ryhtymiselle on se, että kannokko kattaa järven rantaviivan lähes kokonaan. Vuoden 1985 loppuun mennessä oli raivattu 150 km (450 ha) ranta-alueita vapaaksi kannokosta. Rantaviivan pituus on yhteensä noin 550 km, joten jäljellä oleva työmäärä on huomattava, vaikka aivan kaikkia ranta-alueita ei ole tarkoitus raivata.

Järveä säännöstelevä vesivoimayhtiö Oulujoki Oy teki em. alustavat raivaustyöt ja on raivannut kannokkoja vuodesta 1972 alkaen. Kainuun vesipiiri aloitti raivaustyöt 1980 -luvulla. Oulujoki Oy on tehnyt raivausta vain kuivatyönä silloin kun järven vesi on alarajan tuntumassa. Tehokas työaika jää tällöin lyhyeksi käsittäen käytännössä vain toukokuun.

Raivaus kuivatyönä

Kuivatyökalustoa voidaan luonnollisesti käyttää vain silloin kun vedenpinta on riittävän alhaalla ja maapohja on riittävän kantavaa. Kivennäismailla on ainoastaan vedenpinnan korkeus rajoittavana tekijänä, mutta pehmeiköillä työtä voidaan tehdä vain maan ollessa roudassa. Huomattakoon kuitenkin, että jää ja paksu rousta aiheuttavat kantojen rikkoutumista ja siten heikentävät työn tulosta ja osaltaan rajoittavat soveliaasta työaikaa.

Toiminnassa tehokkaimmaksi osoittautui hydraulisen tela-alustaisen kaivukoneen ja kolmen kuormaajalla varustetun metsätraktorin muodostama yksikkö. Useamman traktorin käyttö ei ollut tarkoituksenmukaista työn tahdistuksen takia normaalia työaikaa noudatettaessa. Kaivukoneella kannot pelkästään irroitettiin ja nostettiin 3-4 kannon rykelmäksi. Metsätraktorit kuormasivat kannot ja kuljettivat ne ylimmän vedenkorkeuden yläpuolelle 3-5 m korkeiksi kasoiksi. Työsuoritteet on esitetty jäljempänä taulukossa 1.

Raivaus veden päältä

Huomattava osa raivattavista alueista sijaitsee heikosti kantavilla, turvepohjaisilla rannoilla, saarten rannoilla tai matalikoilla, minkä takia kuivatyö ei tullut kyseeseen. Oli kehitettävä menetelmä rantojen poistamiseksi myös näitä alueilta.

Kainuun vesipiiri päätyi raivauskalustoon, joka käsittää ponttoonien varassa kelluvan alustan ja sen päältä toimivan kaivukoneen, joka korvattiin pelkällä ponttoonin asennetulla hydraulisella nosturilla jo ensi kokemusten jälkeen. Ponttoonin mitat ovat 6x13x1 m, syvyyksenä 0,6 m. Yksikkö liikkuu ponttoonin perään kiinnitetyn potkurin avulla, joka saa voiman suoraan kaivukoneesta. Paikallaan pysymistä varten ponttoonissa oli pohjatunkit.

Parhaaksi kauhan tyyppiä todettiin kourakauha, jolla saadaan helposti pitävä ote kannosta ilman, että suurta määrää pohjamaata nousisi samalla. Kannot säilyivät hyvin koossa. Toiminta soveltuu parhaiten alueille, joilla veden syvyys on 0,5 - 1,5 m.

Työvaiheet olivat: kantojen etsiminen kauhan avulla, nosto, kuormaus, siirto rantaan, purku ja paluu työalueelle. Todettiin, että harjaantunut kuljettaja pystyy myös veden päältä hyvin tarkkaan raivaustulokseen. Liikkumiseen raivausalueelta rantaan (etäisyys max. 350 m) ja takaisin kului suuri osa työajasta ja tältä osin tehoa voitaisiin lisätä. Tiedot työtehosta ovat taulukossa 1, jossa esitetyt luvut ovat hyvin keskimääräisiä, koska olosuhteet eri raivauslohkoilla ovat erilaisia. Siitä huolimatta ne osoittanevat menetelmien välisen suhteellisen tehoeron.

Taulukko 1. Kiantajärven rantakannokkojen raivaustyön kustannukset ja työteho kantojen lukumäärän ja raivatun pinta-alan suhteessa

	<u>Kantoja</u>		<u>Pinta-ala</u>	
	kpl/h	mk/kpl	ha/h	mk/ha
Kuivatyö	140	5,2	0,3	4640
Veden pinnalta	32	13,7	0,08	7000

Huom. kantotiheys 530 kpl/ha

Loppupäätelmiä

Kaikissa vesiin kohdistuvissa toimenpiteissä joudutaan aina arvioimaan hankkeen hyödyllisyyttä kustannuksiin nähden. Saattaa olla niin, että esimerkiksi tekoaltaan pohjan raivaus ei ole suunnitelmaa hyväksyttäessä altaan ensisijaisen käyttötarkoituksen kannalta suoraan välttämätöntä, eikä sille silloin anneta riittävää kustannuspainoa.

On myös niin, että vesistöön kohdistuvissa hankkeissa toimenpiteen lopulliset vaikutukset voidaan havaita vasta pidemmän ajanjakson kuluttua. Kun samoin vesiin ja niiden käyttöön kohdistuvat odotukset ja tarpeet muuttuvat aikojen kuluessa, on vesistö rakenteiden toteuttajan katsottava pitkälle tulevaisuuteen. Ellei näin tehdä, saattaa jälkien korjaaminen tulla ensinnäkin välttämättömäksi ja toiseksi hyvin kalliiksi - kuten äskeinen esimerkkimme osoitti.

Kirjallisuutta: Heikkinen, M. 1986: Tekniset kunnostustoimenpiteet vesistösäännöstelyn aiheuttamien haittojen vähentämiseksi. Diplomityö. Oulun yliopisto, Oulu.

V. A. Lvov
VNIIVO-instituutti

Maanparannus- ja vesi-
taloussymposio
Tbilisi 19.11.1986

ERÄITÄ TEKOALTAIDEN VESIENSUOJELUN MATEMAATTISEEN SIMULOINTIIN LIITTYVIÄ KYSYMYKSIÄ

Tekoaltaisiin keskittyy huomattava osa käytettävästä pintavalunnasta. Arvioiden mukaan maailmassa on yli 13.000 sellaista tekoallasta, joiden tilavuus on yli 1 milj m^3 , niistä yli 2000 sellaista, joiden tilavuus on yli 100 milj. m^3 .

Esimerkiksi Neuvostoliitossa on 202 suurta, yli 1000 milj. m^3 tekoallasta, mikä on n. 20 % jokien vuotuisesta valunnasta ja ylittää yli kaksinkertaisesti maamme jokiuomien samanaikaiset vesivarat.

Vaikka suurten tekoaltaiden osuus Neuvostoliitossa on vain 16 % altaiden kokonaismäärästä, on niihin keskittynyt noin 99 % kaikesta tekoaltaisiin varastoituneesta pintavalunnasta. Tilanne on vastaavanlainen Länsi-Euroopan maissa, Intiassa, Kiinassa, USA:ssa, Kanadassa ym. Poikkeuksen muodostavat ainoastaan Japani, Italia, Iso-Britannia sekä alppimaat, joissa suurten tekoaltaiden osuuden arvioidaan olevan alle 50 % varastoituneen veden kokonaismäärästä (1).

Näin ollen tekoaltaat ovat huomattava vesitalouden vedenlähde. Tärkein merkitys on altailla, joiden tilavuus on yli 100 milj m^3 .

Tekoaltaiden vesiensuojelun tehtävänä on taata vedenkäytön vaatimuksia vastaava normitettu veden laatu (2). Tällöin päähuomio kiinnitetään kohteen suojeluun teollisuuden, yhdyskuntien sekä maatalouden jätevesien saastuttavalta vaikutukselta.

Kuitenkin tekoaltaiden jätevesisaastumisen täydellisen ehkäisyn vaatimien teknisten mahdollisuuksien puuttuminen on yhdessä spesifisten hydrologisten olosuhteiden kanssa johtanut kohteiden rehevöitymiseen.

Tekoaltaiden rehevöityminen on varsin voimakas altaansisäinen saastumistekijä, joka veden laatuun (esim. täysi biokemiallinen hapenkulutus) kohdistuvalta vaikutukseltaan eräissä tapauksissa ylittää jätevesien aiheuttaman alloktonisen saastumisen (3).

Rehevöitymisongelmasta on viime aikoina tullut avainasemassa oleva kysymys tekoaltaiden vesiensuojelussa. Tähän tulokseen päätyivät Neuvostoliiton tiedeakatemian v. 1983 Moskovassa järjestämän III kansainvälisen luonnonvesien antropogeenista rehevöitymistä käsitelleen symposiumin osanottajat.

Tästä syystä Neuvostoliitossa ja muissa maissa etsitään intensiivisesti teknisiä ratkaisuja tekoaltaiden rehevöitymisen estämiseksi sekä tämän ilmiön aiheuttamien, vedenkäyttäjiin kohdistuvien kielteisten vaikutusten vähentämiseksi.

Tarkastelemme muutamia tuloksia siitä työstä, jota on tehty Neuvostoliitossa ja Saksan Demokraattisessa Tasavallassa SEV-maiden tieteellis-teknisen yhteistyön puitteissa. Neuvostoliitossa rehevöityminen on selvintä Dneprin, Volgan, Donin ja eräiden muiden säännösteltyjen vesistöjen tekoaltaissa. DDR:ssa rehevöityminen kattaa 90 % kaikista altaista (5).

Tekoaltaiden rehevöitymisen estämisen sekä tämän ilmiön haittavaikutusten vähentämisen tärkeimpiä keinoja ovat hydrobionttien primäärituoton hillitseminen, planktonlevien poistaminen vesikerroksista, orgaanisten aineiden hajoamisen tehostaminen, biogeenisten elementtien pitoisuuden vähentäminen vedessä sekä se, että vedenottamoita rakennettaessa otetaan huomioon kasviplanktonin jakautuminen altaan eri osiin ja sen eri syvyyyksiin.

Neuvostoliitossa esimerkiksi on rakennettu ja on parhaillaan tuotannollisessa koekäytössä Dneprin-Donbassin kanavaan rakennetun prototyyppivedenottamon planktonsuoja, jonka avulla vettä voidaan ottaa selektiivisesti käyttäen kriteeriona sinilevän tiheyskerrostuneisuutta (6). Orgaanisten aineiden hajoamisen tehostamiseen ja tietyn biogeenimäärän poistamiseen suositetaan ylempää vesikasvillisuutta, joka on oleellinen osa altaan ekologista järjestelmää. Rakenteelliset ratkaisut, joilla em. toimenpiteet toteutetaan, on yhdistetty nimikkeellä biokenttä (6, 7).

Tiettyä mielenkiintoa edustavat menetelmät, joissa ravinteita

sakkautetaan lisäämällä veteen flokulantteja ja johtamalla pois syvemmällä olevaa vettä lappolaitteistojen avulla, ravinteita poistetaan biologisesti eliminoimalla nitraatteja heterotrofisen dissimiloinnin avulla (5), liejunkerroksia poistetaan mekaanisesti, vettä ilmastetaan keinotekoisesti ym.

Vesistönsisäisten vesiensuojelutoimenpiteiden sekä niiden rakenteellisten ja teknologisten parametrien määrittely perustuu tutkittavien prosessien kvalitatiiviseen ja kvantitatiiviseen analyysiin.

Tehokas analyysimenetelmä on prosessien matemaattinen simulointi sekä ATK-tekniikkaa hyväksikäyttäen suoritettavat laskennalliset kokeet.

Matemaattisten mallien avulla pystytään selvittämään tutkittavan kohteen syvemmät sisäiset vuorovaikutussuhteet ja määrittämään sen kvantitatiiviset ominaisarvot. Laskennalliset kokeet puolestaan antavat mahdollisuuden kokonaan tai osittain korvata kenttäkokeet, mikä oleellisesti lyhentää kehitystyöhön käytettävää aikaa ja vähentää kustannuksia parantaen samalla kehitystyön tehokkuutta.

Instituuttimme on panostanut matemaattisen simuloinnin kehittämiseen sekä sen laajaan käytännön soveltamiseen vesiensuojelutoiminnassa.

Esimerkiksi tekoaltaiden rehevöitymisen sekä vedenkäyttäjille aiheutuvien haittavaikutusten tutkimiseksi on kehitetty matemaattisia malleja, jotka kuvaavat vesistöjen planktonlevien kehityksen ja niiden liikedynamiikan eri puolia (8, 9).

Laadittujen matemaattisten mallien avulla voidaan mm. selvittää planktonin liikkeen dynaamiset perusparametrit, joiden avulla voidaan planktonhiukkasten syntymäprosessi huomioonottaen laskea planktonin biomassa tilan ja ajan funktiona missä tahansa vesistön pisteessä.

Ehdotetut mallit perustuvat olettamukselle, että planktonhiukkasiin, joita tarkastellaan jossain määrin idealisoidusti mittakaavaltaan pieninä palloina (d), joilla on erilaiset massat (m) ja jotka liikkuvat eri nopeuksilla (v) kantavassa nesteessä, kohdistuu liikeprosessin aikana säännöllinen vaikutus nesteen ja ulkoisen kentän taholta sekä myös satunnaisia vaikutuksia sysäysten muodossa.

Tässä tapauksessa erillisen planktonhiukkasen liikkeen voi kuvata Langevinin yhtälötyypillä (10)

$$\frac{d}{dt} (m \vec{v}) = \vec{F} + \vec{Y} \quad \frac{d\vec{x}}{dt} = \vec{v}$$

jossa $\vec{F} = \vec{F}(x, \vec{v}, m, t)$ on säännöllinen ja $\vec{Y} = \vec{Y}(t, \omega)$ satunnainen planktonhiukkaseen vaikuttava voima (ω - satunnaiset parametrit).
Luonnollisesti olettaen, että $\vec{Y}(t, \omega)$ on Gaussin stationaarinen prosessi ja että hiukkasen massa (m) riippuu ajasta hyvin heikosti, saadaan planktonhiukkasten jakaumafunktiolle koordinaattien (x), nopeuksien (v) ja massojen (m) osalta ajasta (t) riippuen $\varphi(x, \vec{v}, m, t)$ - Fokker-Plankin yhtälö (10)

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} + \sum_{i=1}^3 \frac{\partial}{\partial x_i} (v_i \varphi) + \sum_{i=1}^3 \frac{\partial}{\partial v_i} \left(\frac{F_i}{m} \varphi + k \frac{\partial \varphi}{\partial v_i} \right) = 0 \quad (I)$$

jossa F_i on säännöllisen voiman komponentti ja $k = \text{const}$ diffuusiokerroin impulssitilassa.

Tunnetaan (11), että pallomaisille hiukkasille, jotka liikkuvat viskoosissa kokoonpuristumattomassa nesteessä, voidaan säännöllinen voima \vec{F} esittää melko tarkkaan nostovoiman

$$\vec{F}_n = g \tau (\rho_p - \rho_f) \vec{e}_3 \quad (2)$$

ja valumavoiman

$$\vec{F}_c = 3 \pi \rho_f \nu d (\vec{u} - \vec{v}) \quad (3)$$

summana, jossa ρ_p ja ρ_f ovat planktonhiukkasen ja kantavan nesteen ominaistiheydet, ν - kantavan nesteen kinemaattinen viskositeetti, d ja $\tau = \frac{\pi d^3}{6}$ planktonhiukkasen halkaisija ja tilavuus, \vec{v} ja \vec{u} planktonhiukkasen nopeus ja kantavan nesteen nopeus jonkin matkan päässä hiukkasesta,

$g \approx 9,82 \text{ m/s}^2$ - vapaan putoamisen kiihtyvyys, \vec{e}_3 ylöspäin suuntautuneen x_3 akselin ort.

Siinä tapauksessa, että jossakin kantavan nesteen täyttämässä tilassa V on suuri määrä planktonhiukkasia, funktio $\rho(x, \vec{v}, m, t)$ antaa täydelliset tiedot hiukkasten jakautumisesta tilassa V koordinaattien, nopeuksien ja painojen osalta minä tahansa hetkenä. Kuitenkin huolimatta siitä, että $\rho(x, \vec{v}, m, t)$ täyttää lineaariyhtälön ehdot (1), on sen löytäminen melko vaikeaa. Lisäksi käytännön tarkoituksia varten riittää yleensä se, että tunnetaan muutamat hiukkaskompleksien makroskooppiset ominaisarvot kuten konsentraatio

$$N(x, t) = \iint \rho(x, \vec{v}, m, t) d\vec{v} dm, \quad (4)$$

tiheys

$$\rho(x, t) = \frac{1}{N} \iint \frac{m}{\tau} \rho(x, \vec{v}, m, t) d\vec{v} dm \quad (5)$$

ja keskinopeus

$$\vec{w}(x, t) = \frac{1}{N} \iint \vec{v} \rho(x, \vec{v}, m, t) d\vec{v} dm. \quad (5)$$

Mutta jos lähdetään täysin luonnollisesta olettamuksesta, että funktio $\rho(x, \vec{v}, m, t)$ melko pian pyrkii nollaan yhdessä \vec{v} :n johdannaisten kanssa, kun $|\vec{v}| \rightarrow \infty$, niin integroimalla (1) \vec{v} ja m saadaan hydrodynaaminen yhtälö $N(x, t)$:lle :

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \sum_{i=1}^3 \frac{\partial}{\partial x_i} (w_i N) = 0, \quad (7)$$

ja käyttäen hieman monimutkaisempaa päätelmää saamme vastaavanlaiset yhtälöt $\rho(x, t)$:lle ja $\vec{w}(x, t)$:lle.

Kuitenkin jotta nämä yhtälöt saataisiin sellaiseen muotoon, että niiden kanssa on helppo työskennellä, pitää niitä huomattavasti yksinkertaistaa.

Jotta saataisiin yhtälöt, jotka kelpaavat käytännön soveltamiseen, analysoimme tarkasteltavien yhtälöiden ja muuttuvien suureiden luonteenomaisen

muuttumismittakaavan väliset suhteet.

Tunnetaan, että planktonhiukkaskoot ovat rajoissa $d \approx 10^{-3} - 10^{-5} \text{ m}$ [12].

Laskennallista tapausta varten muiden parametrien suuruudeksi otetaan:

$$\text{Ominaistiheys } \rho_p \approx 98 - 105 \text{ kg/m}^3$$

Hiukkasten lukumäärä yhdessä kuutiometrissä kantavaa nestettä

$$N \approx 10^9 - 10^{10} \text{ m}^{-3}$$

Hiukkasnopeuden fluktuaatio $\leq 10^{-3} \text{ m/s}$.

Kantavan nesteen - makean veden parametrit:

Kinemaattinen viskositeetti $\nu = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

$$\text{Ominaistiheys } \rho_f = 102 \frac{\text{kg} \cdot \text{s}^2}{\text{m}^4}$$

Huomioiden nämä suhteet saadaan yhtälö $\vec{w}(x, t)$:lle - planktonhiukkasten keskinopeudelle:

$$\vec{w}(x, t) = \vec{u}(x, t) + \frac{d^2 g}{18 \gamma} \left(1 - \frac{\rho(x, t)}{\rho_f} \right) \vec{e}_3, \quad (8)$$

jossa \vec{u} = kantavan nesteen nopeus.

Tästä, yhtälöstä (7) ja kantavan nesteen kokoonpuristumattomuudesta ($\sum \frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0$) saadaan seuraava yhtälö $N(x, t)$:lle - planktonhiukkasten konsentraatiolle:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \sum_{i=1}^3 u_i \frac{\partial N}{\partial x_i} + \frac{d^2 g}{18 \gamma} \frac{\partial}{\partial x_3} \left[N \left(1 - \frac{\rho}{\rho_f} \right) \right] = 0 \quad (9)$$

sekä yhtälö $\rho(x, t)$:lle - planktonhiukkasten tiheydelle:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \sum_{i=1}^3 u_i \frac{\partial \rho}{\partial x_i} = 0 \quad (10)$$

Täten mikäli tunnetaan kantavan nesteen nopeus $\vec{u}(x, t)$, niin yhtälöiden (8), (9) ja (10) avulla voidaan määrittää tärkeimmät makroskooppiset ominaisarvot $\rho(x, t)$, $N(x, t)$ ja $\vec{\omega}(x, t)$.

Jotta voitaisiin ottaa huomioon planktonhiukkasten syntymäprosessi ja niiden massan muutos ajassa, teemme tarkasteltavaan malliin vastaavat muutokset.

Voidaan olettaa, että planktonhiukkasen massa m , joka hetkellä t on pisteessä x muuttuu ajassa seuraavan lain mukaisesti

$$\frac{dm}{dt} + \gamma m = \epsilon(x, t) \quad (11)$$

jossa γ on pieni parametri ($\frac{1}{\gamma}$ aikavakio)

$\epsilon(x, t)$ funktio, joka luonnehtii ulkoisten tekijöiden vaikutusintensiteettiä.

Oletamme, että 1 cm^3 :ssä syntyy joka 10 s enintään yksi hiukkanen, silloin

$$\gamma(x, t) \leq 10^5 \text{ } \gamma_c, \quad \gamma \sim 10^{-3} \text{ } \gamma_c$$

$$\epsilon(x, t) \sim 10^{-1} \text{ } \epsilon_c$$

Lähtien näistä olettamuksista ja modifioimalla vastaavasti yhtälöt (8), (9) ja (10) saamme

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \sum_{i=1}^3 u_i \frac{\partial \rho}{\partial x_i} + \gamma \rho = \frac{\epsilon(x, t)}{\epsilon_c} \quad (12)$$

ja planktonin ja kantavan nesteen seoksen liikeyhtälöjärjestelmä saa muodon

$$\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \sum_{i=1}^3 u_i \frac{\partial \vec{u}}{\partial x_i} = \alpha R N \vec{e}_3 + \frac{1}{\rho_f} \nabla \rho$$

$$\text{div } \vec{u} = 0$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \sum_{i=1}^3 u_i \frac{\partial N}{\partial x_i} + \beta \frac{\partial}{\partial x_3} (R N) = \gamma(x, t)$$

$$\frac{\partial R}{\partial t} + \sum_{i=1}^3 u_i \frac{\partial R}{\partial x_i} + \gamma R = \gamma - \frac{\epsilon(x, t)}{\epsilon_c \rho_f},$$

jossa $R(x,t)$ - suhteellinen tiheys:

$$R(x,t) = \frac{1}{\rho_f} (\rho_f - \rho(x,t))$$

$$\alpha = \frac{\pi g d^3}{6}, \quad \beta = \frac{g d^2}{18 \nu}$$

Liittäen tähän differentiaaliyhtälöjärjestelmään vastaavat alku- ja ääriehdot funktioille \vec{U} , N ja R saamme tehtävän planktonin liikkeen dynaamisten perusominaisarvojen määrittämiseksi mukaanlukien biomassan B määrittämisen ajan ja tilan funktiona, ts.

$$B(x,t) = \rho = N \bar{v}$$

Alkuehdot funktioille \vec{U} , N ja R määrätään kussakin vesistökohteessa tehtävissä kenttätutkimuksissa ja ne toteutetaan ottaen huomioon vesistön sijaintialueen ilmastolliset olosuhteet, sen morfometriset ominaisarvot, valaisuolosuhteet, sameus, biogeenisten elementtien lukumäärä ym.

Kirjallisuus

- 1) Avakjan A.V. , Sharapov V.A., Saltenkin V.P. et al. Maapallon tekoaltaat. M. 1979. 287 s.
- 2) Pintavesien suojelu jätevesien aihauttamalta saastumiselta. M. 1977
- 3) Stolberg F.V., Oksijuk O.P., Oleinik G.N. Veden kukinnan vaikutus biologiseen hapenkulutukseen. Vaikutuksen huomioiminen veden laadun suunnittelussa ja säätelyssä. Kirjassa: Luonnonvesien laadun säätely. Harkov VNIIVO 1984, s. 130 - 136.
- 4) Luonnonvesien antropogeeninen rehevöityminen. III kansainvälisen symposiumin teesit. M. 1983, 288 s.
- 5) Rudolf G. Nährstoffelimination in Oxydationsgräben und Oxydationsteichen. - Fortschr. Wasserchemie, 1968, H. 8, 234 - 244.
- 6) Stolberg F.V. Eräitä teknisiä mahdollisuuksia tekoaltaiden vedenkäyttöolosuhteiden parantamiseksi. Esitelmä neuvostoliittolais-suomalaisessa symposiumissa, Kiev 1986.
- 7) Oksijuk O.P., Stolberg F.V., Oleinik G.N. et al. Biokenttä ja sen käyttö kanavissa. - Hydrotekniikka ja maanparannus, 1980 n:o 8, s. 66 - 70.
- 8) Lvov V.A. Planktonin liike viskoosisissa nesteessä. Kirjassa: Jokialtaiden vesiensuojelu. Kokoelma tiet. tutk. Harkov VNIIVO, 1980, s. 102 - 112.
- 9) Lvov V.A. Biologisen kentän hydrokemiaallinen malli. Kirjassa: Jokialtaiden vesiensuojelu. Kokoelma tiet. tutk. Harkov VNIIVO, 1985, s. 81 - 88.
- 10) Klimontovitsh Ju.A. Statistinen fysiikka. M. Nauka, 1982.
- 11) Happel J., Brenner G. Hydrodynamiikka pienillä Reinholdsien luvuilla. M., Mir 1976, s. 630.
- 12) Erhard J.P., Sazhen J. Plankton. L. Gidrometeoizdat, 1984, 256 s.

Esko Kuusisto
Vesi- ja ympäristöhallitus

Maanparannus- ja vesi-
taloussymposio
Tbilisi 19.11.1986

TEKOJÄRVIENTEN VAIKUTUS ALAPUOLISEN VESISTÖN HYDROLOGIASSA

Tekojärven rakentaminen aiheuttaa aina hydrologisia muutoksia alapuolisessa vesistössä. Itse asiassa hydrologisten muutosten aikaansaaminen, erityisesti ylivirtaamien pienentäminen tai alivirtaamien lisääminen, on usein tekojävien rakentamisen tavoitteena. Näiden tarkoitettujen muutosten ohella esiintyy usein myös ei-tarkoitettuja muutoksia esim. alapuolisen vesistön jää- ja lämpöoloissa.

Seuraavassa tarkastellaan eräitä tekojävien aiheuttamia hydrologisia muutoksia Suomen vesistöissä. Koska luonnonjävien säännöstelyllä voi olla hyvin samanlaisia hydrologisia vaikutuksia kuin tekojävillä, on osa esimerkeistä valittu voimakkaasti säännöstellyistä järvistä.

Vaikutukset virtaamiin

Kuvassa 1 on esitetty kuukauden keskivalumat kahdella Lapin virtaamahavaintopaikalla 1970-luvulla. Ounasjoki edustaa tyypillistä vähäjävistä Lapin vesistöä; yli 50 % vuosivalunnasta esiintyy touko-kesäkuussa lumien sulaessa. Talvikuukausien valumat ovat hyvin pienet eikä merkittäviä syystulviakaan yleensä esiinny.

Toinen hydrografi esittää juoksutuksia Lokasta, Suomen suurimmasta tekojävistä. Yli 60 % juoksutuksista ajoittuu marras-helmikuulle. Tulvakuukausien juoksutusten osuus on alle 10 % koko vuosivalumasta.

Kuva 1 kertoo samalla keskeisimmät syyt Lapin tekoaltaiden rakentamiseen. Sähköenergian kulutus on suurin talvikuukausina; silloin tekojävien varastoitua vettä kannattaa juoksuttaa. Samalla tekojävät pienentävät alapuolisen vesistön kevättulvaa ja vähentävät voimalaitosten ohijuoksutuksia.

Kuvan 1 tilanne edustaa ääriesimerkkiä Suomen olosuhteissa. Useimmat tekojärvemme ovat niin pieniä, etteivät ne riitä varastoimaan yläpuolisen vesistön kevättulvaa kokonaan. Tällöin niiden täyttö pyritään ajoittamaan tulvasuojelun kannalta otollisimpaan ajankohtaan.

Vaikutukset vedenkorkeuksiin

Avovesikautena ovat tekojärvien alapuolisten vesistöjen vedenkorkeusvaihtelut analogiset virtaamanvaihteluiden kanssa. Sitä vastoin talvikuukausina aiheuttavat jääilmiöt, erityisesti supon muodostus, suuria vedenkorkeusvaihteluita, vaikka virtaama olisi muuttumaton. Näitä ilmiöitä kuvataan artikkelissa myöhemmin.

Lyhytaikaissäännöstely aiheuttaa eräiden tekoaltaiden alapuolisessa vesistössä merkittävän vedenkorkeusvaihtelun. Tästä on esimerkki kuvassa 2. Säännöstelyaalto etenee noin kahdessa vuorokaudessa Uljuasta Länkelään, noin 90 km matkan. Samalla aallon amplitudi vaimenee ja sen muoto loivenee. Jääpeitteen aikana aalto aiheuttaa jään murtumisen ja voi kasvattaa sen paksuutta.

Vaikutukset lämpöoloihin

Tekojärvi on paitsi vesivarasto myös lämpövarasto. Sen jääkannen alle jäävän veden lämpöenergialla voi olla merkittävä vaikutus alapuolisen vesistön lämpöoloihin koko talvikauden ajan. Välillisesti tämä lämpövarasto vaikuttaa myös alapuolisen vesistön jääoloihin.

Koska tekojärvien keskisyvyys on Suomen olosuhteissa yleensä vain muutamia metrejä, jäähtyy niiden vesi melko kylmäksi ennen jääpeitteen muodostumista. Toisaalta pienestä keskisyvyydestä on se seuraus, että pohjasedimentteihin varastoitunut lämpömäärä on vesitilavuuteen verrattuna suurehko. Koska jääkansi estää tehokkaasti lämpöhäviöt ilmakehään, alkaa tekojärvien vesi hitaasti lämmetä

pian jääkannen muodostumisen jälkeen. Lämpenemisnopeus ei kuitenkaan talvikuukausina ole yleensä suurempi kuin $0,05 - 0,2^{\circ}\text{C}$ kuukautta kohti. Esimerkkinä on kuvassa 3 esitetty Porttipahdan tekoaltaan vertikaalinen lämpötilajakauma joulukuulta ja helmikuulta jaksolta 1975-85.

Tekojärvestä purkautuvan veden lämpötilaan vaikuttaa jossain määrin myös säännöstelypadon rakenne. Jos vesi purkautuu pohjaluukuista, on se hieman lämpimämpää kuin jos purkautuva vesi olisi peräisin pintakerroksista.

Koska tekojärvet täyttyvät keväällä kylmillä sulamisvesillä, on niiden vesimassan keskilämpötila jäänläähtöä seuraavina viikkoina alhaisempi kuin morfologialtaan samankaltaisten luonnonjärvien. Ero kuitenkin tasoittuu pian, eikä ilmene esim. kesän maksimilämpötiloissa enää lainkaan.

Vaikutukset jääoloihin

Runsaat juoksutukset tekojärvistä ja säännöstellyistä luonnonjärvistä hidastavat jääkannen syntyä alapuolisella jokiosuudella. Jos sulia alueita on runsaasti, tapahtuu kovalla pakkasella veden alijäähtymistä ja supon muodostusta. Tämä on eräissä Suomen vesistöissä jokatalvinen ongelma.

Tyypillinen esimerkki on Iijoki. Sen latvoilla on kaksi suurta säännösteltyä järveä, Kostonjärvi ja Irnijärvi. Molemmista järvistä juoksutetaan talvikuukausina noin $20 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ vettä, jonka lämpötila on tyypillisesti $0,5 - 1,0^{\circ}\text{C}$. Jos ilman lämpötila on -30°C on lämpöhäviö vedenpinnasta puolipilvisellä, heikkotuulisella säällä noin $650 \text{ J s}^{-1} \text{ m}^{-2}$. Tällöin veden lämpötila laskee nolnaan $2 - 4 \text{ km:n}$ matkalla ja suppoa alkaa syntyä. Mikäli tuulee, tapahtuu alijäähtyminen jo $1 - 2 \text{ km:n}$ matkalla.

Supon muodostuminen aiheuttaa vedenpinnan nousua. Tavallisesti nousun suuruus on 0,5 - 1,0 m, mutta pahoissa tilanteissa on havaittu selvästi suurempiakin nousuja. Lisäksi runsas jäänmuodostus heikentää uoman vedenjohtokykyä kevättulvan aikana.

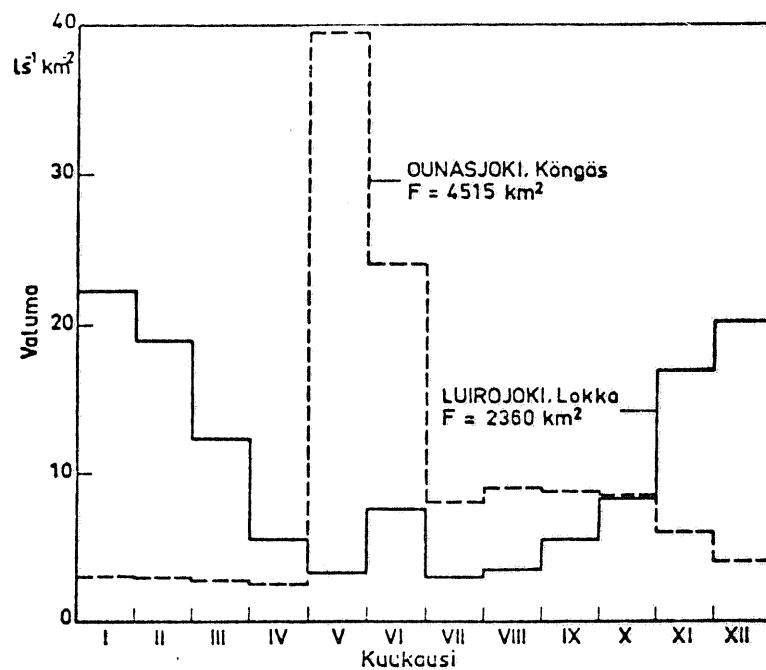
Jos tekoaltaan tai säännöstellyn järven alapuolinen jokiosuus on loiva, syntyy siihen yleensä jääkansi eikä suppohaittoja ole. Kuitenkin jää voi pysyä niin ohuena, että esim. entisiä ylityspaikkoja ei voida turvallisesti käyttää.

Pohjanmaan vesistöissä on selvitetty lyhytaikaissäännöstelyn vaikutusta jääoloihin. Vedenkorkeuden vuorottainen aleneminen ja kohoaminen synnyttävät molemmat uutta jäätä kuvan mukaisesti. Lisäksi virtaaman nopea kasvu voi johdtaa veden virtaamiseen jään päälle, jolloin syntyy kerroksista lustojaätä.

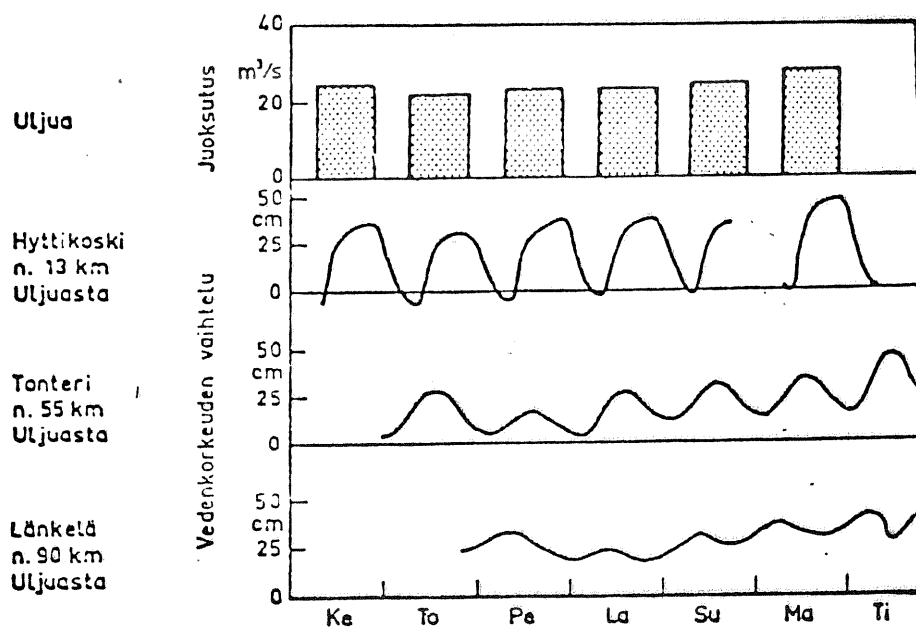
Kuvassa 4 on esitetty yhteenveto jään maksimipaksuuksista säännöstellyillä ja säännöstelemättömillä havaintopaikoilla. Keskimäärin maksimipaksuus oli 10 cm eli 18 % suurempi säännöstellyillä havaintopaikoilla. Ero oli tilastollisesti erittäin merkitsevä. Erityisesti säännöstely kasvatti jäänpaksuutta lähellä rantoja.

Käyttökokemusten myötä on eräillä jokiosuuksilla pystytty ehkäisemään jään lisäkasvua. Erityisesti on opittu arvioimaan, millä nopeudella virtaamaa voi lisätä ilman että vesi nousee jään päälle.

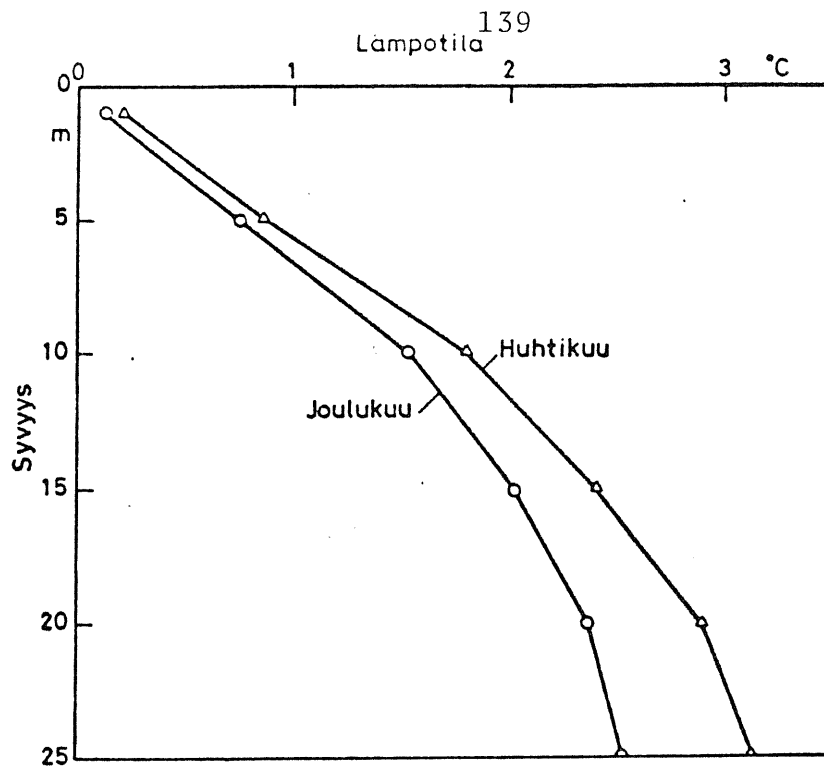
Lyhytaikaissäännöstely voi myös aiheuttaa jääpeitteen rikkoutumisen ja johtaa kulkuhaittoihin. Tällainen on tilanne mm. Pohjanmaan suurimman tekojärven, Siikajoen Uljuan, alapuolisella jokiosuudella. Ensimmäiseen koskijaksoon saakka pitävät veden lämpövarasto ja vedenpinnan vaihtelut jääkannen niin heikkona ja rikkonaisena, ettei jäällä yleensä voi liikkua turvallisesti.



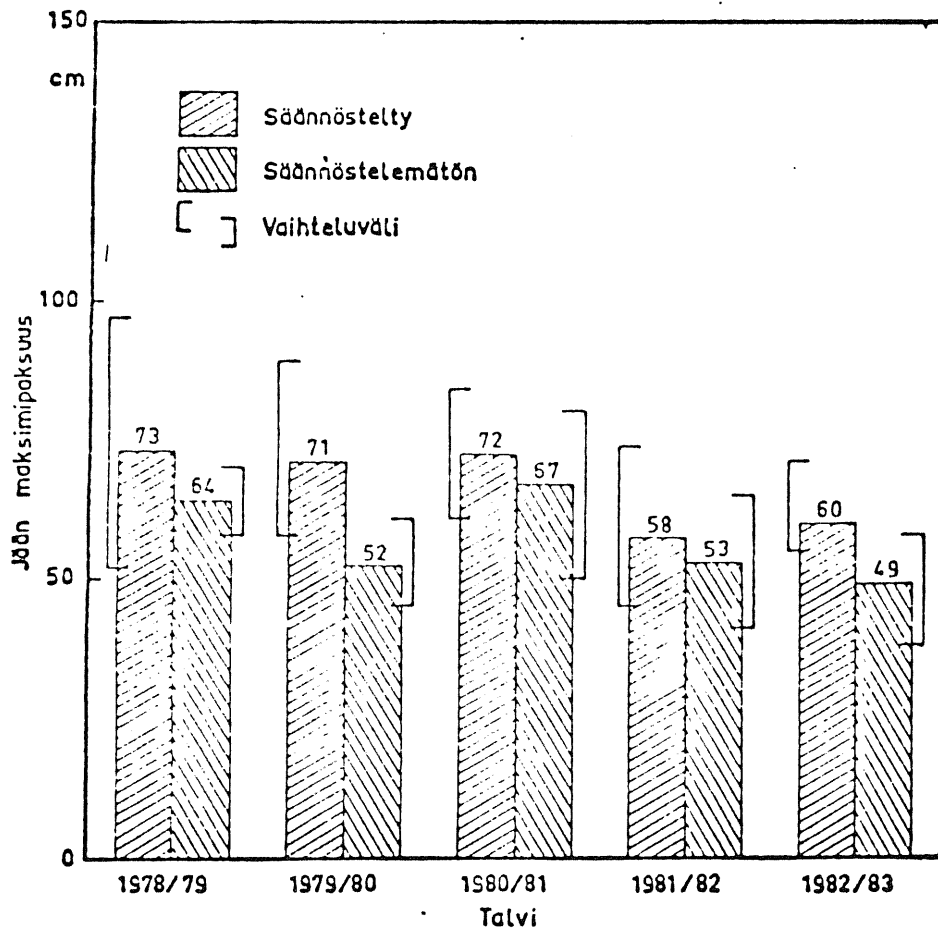
Kuva 1. Lokan tekojärven juoksutukset sekä luonnontilassa olevan Ounasjoen virtaamat kuukausikeskiarvoina jaksolla 1971-1980.



Kuva 2. Uljuan vuorokausisäännöstelyn aiheuttama vedenkorkeusvaihtelu kolmessa alavirtaan olevassa havaintopisteessä.



Kuva 3. Veden lämpötilan vertikaalinen jakauma Porttipahdan tekojärviessä joulukuussa ja huhtikuussa jaksolla 1975-1985.



Kuva 4. Jään maksimipaksuuden keskiarvot säännöstyillä ja sääntöstelemättömillä Pohjanmaan vesistöjen havaintopaikoilla talvina 1979-1983.

G. P. Dubinskij
A. M. Riman
Harkovin yliopisto

Maanparannus- ja vesi-
taloussymposio
Tbilisi 19.11.1986

MAANPARANNUKSEN VESIENKÄYTÖN YMPÄRISTÖNÄKÖKOHTIA

Maanparannuksen pitkän ajanjakson ohjelma ja Neuvostoliiton kommunistipuolueen ja hallituksen päätökset maatalous-teollisten kompleksien toiminnan parantamisesta edellyttävät maanparannuksen tehostamista, kuitenkin säilyttäen kuivatettavien ja ojitettavien maiden ekologisen tasapainon. Harkovin alueella, joka sijaitsee kosteusolosuhteiltaan epävakaaalla vyöhykkeellä, on vallitsevana maanparannustoimenpiteenä kastelu. Kastelupinta-ala on yli 100.000 ha. Kasteluvesi otetaan pääasiassa tekoaltaista. Kasteluun käytettävä vesi muuttaa sekä kasteltavien että niihin rajoittuvien alueiden fysikaalis-maantieteellisiä ominaisuuksia. Vastaavasti kasteltavilla alueilla on tietty vaikutus tekoaltaiden ja muiden vesilähteiden kvalitatiivisiin ja kvantitatiivisiin arvoihin.

Vaikutusaste riippuu ennen muuta kastelun ekologisesta optimoinnista. Harkovin yliopiston tekemän kenttätutkimuksen tulosten perusteella voidaan sanoa, että kasteluun käytettävän vesimäärän ja stabiilin sadon turvaamiseksi tarvittavan vesimäärän välillä on tietty epäsuhta. Mikäli kasteluvesi ei kulu kokonaan maanparannuksellisen pienilmaston ylläpitoon ja kasvien elintoimintoihin, niin sen agrokemiallisten tuotteiden kyllästämä käyttämätön osa joutuu pohjavesiin, tekoaltaisiin ja lopulta käyttövesiverkkoon.

Huolimatta selvästä vesivarojen liikakulutuksesta, mikä ilmenee mm. alueiden soistumisena, eivät ole harvinaisia tapaukset, joissa viljelykasvit kärsivät kuivuudesta, koska kastelu ei tapahdu oikeaan aikaan. Esim. kasvukautena 1985 eräällä kurkunviljelyalueella suoritettiin kastelua, joka ajallisesti osui yhteen sateiden kanssa. 8. - 10. elokuuta alueelle työntyneet kuivat ilmamassat ja tuulet aiheuttivat sen, että 75 % kasvien lehdistä vaurioitui ja kurkkujen kasvu loppui. Samaan aikaan edellisen kastelun vaikutus loppui, mutta uutta, virkistävää

kastelua ei suoritettu. Myöhempi kastelu osoittautui taloudelliselta kannalta hyödyttömäksi, koska se ei palauttanut kasvien elintoimintoja ennalleen, ja ympäristön kannalta se ei ollut järkevää, koska käyttötarkoitukseensa kulumaton vesi aiheutti kielteisiä ympäristövaikutuksia.

Tyyppitapaus sekä taloudellisesti että ekologisesti epärationaalisesta vesien käytöstä on monivuotisten heinäkasvien kastelu kylmänä kautena. Todettiin, että tutkitulla alueella aikana, jolloin auringon säteily määrä oli alle $4,5 \text{ kcal/cm}^2$ pentadilta, biomassan kasvu kastelualueilla oli alle 15 - 20 % riippumatta maaperän kosteudesta.

Kastelumäärien ja -aikojen korjauksessa on otettava huomioon alueen fysikaalis-maantieteelliset, mm. geomorfologiset ominaispiirteet. Esimerkiksi Limanin kastelujärjestelmän alueella pellot sijaitsevat lössimaaterassilla. Ruokamulta on 0,3 - 4,5 m paksuisen hietasavikerroksen päällä ja syvemmillä on paksu hiekka. Siellä, missä hietasavikerros on ohut, liika kosteus imeytyy alempaan hiekkakerrokseen. Seurauksena on perustelematon veden liikakulutus ja pohjavesien laadun huonontuminen.

Eräs pääsyy systemaattiseen liikakasteluun on haihtumismäärän virheellinen laskenta. On todettu, että 60 % tapauksista haihtuminen on alle 3 mm, jolloin kastelumäärän pitäisi olla enintään $300 \text{ m}^3/\text{ha}$. Käytännössä yleinen kastelumäärä on jopa $500 \text{ m}^3/\text{ha}$ ja yli, mikä olisi aiheellista ainoastaan erityisen kuivissa olosuhteissa.

Ilmeisesti vesivarojen tehokkaan käytön valvonta tulisi antaa erityisten kastelupalveluyksiköiden hoidettavaksi. Kastelupalvelun tehtävänä olisi valvoa kasteltavia kohteita ja mm. jakaa vedenkäyttö siten, että kastelussa otettaisiin huomioon senhetkiset ja ennustetut sääolot, ts. kastelu tapahtuisi "kuivan tuulen alle". Olisi tarkoituksenmukaista antaa "myrskyvaroituksia", kun valvottavaa aluetta lähestyisi kuiva ilmamassa ja kuiva tuuli, joiden vaikutuksen kumoamiseksi tulisi ryhtyä tarvittaviin toimenpiteisiin. Kasteluveden lisäkulutus ääriolosuhteissa ei lisää kasvukauden kokonaisvedenkulutusta, koska vettä voidaan säästää laskemalla tarkemmin haihtumismäärät ja ryhtymällä muihin toimenpiteisiin, jotka optimoivat veden käytön sekä alueellisesti että ajallisesti.

Käytäntö on osoittanut luotettavaksi menetelmäksi lämpöbalanssikriteerion, ts. lämmön- ja kosteudenvaihtokertoimen käytön . Kerroin on haihtumiseen kuluvan lämmön ja turbulenttilämmönvaihtoon kuluvan lämmön suhde. Kertoimen avulla laskettu haihtumismäärä kuvaa suhdetta maaperä - kasvi - ilma kokonaisuudessaan ja sen avulla voidaan laskea ekologiselta kannalta perusteltu kastelumäärä kutakin kohdetta varten.

Käsitellyt kysymykset ovat osa Neuvostoliiton Euroopan puoleisen osan, erityisesti maatalousalueiden luonnonkäytön ongelmakenttää. Ilmeisesti on tullut aika, jolloin eri alojen asiantuntijoiden toiminta tulee koordinoida, jotta voitaisiin kehittää yhtenäiset menetelmät teollisuuden, maatalouden ja muiden kuluttajien vedenkäytölle.

